

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-349240  
(P2002-349240A)

(43) 公開日 平成14年12月4日 (2002.12.4)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
F 0 1 N 3/02	3 2 1	F 0 1 N 3/02	3 2 1 E 3 G 0 9 0
	3 0 1		3 0 1 F 3 G 0 9 1
	3 2 1		3 2 1 A 3 G 3 0 1
3/24		3/24	E
3/28	3 0 1	3/28	3 0 1 C
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 24 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-161050(P2001-161050)

(22) 出願日 平成13年5月29日 (2001.5.29)

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社  
愛知県豊田市トヨタ町1番地

(72) 発明者 吉田 耕平

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72) 発明者 竹島 伸一

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(74) 代理人 100077517

弁理士 石田 敬 (外2名)

最終頁に続く

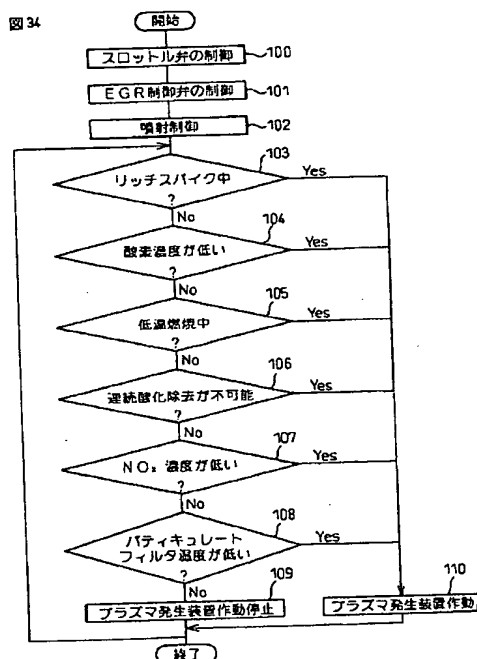
(54) 【発明の名称】 内燃機関の排気浄化装置

(57) 【要約】

【課題】 多量のバティキュレートが大気中へ放出されないようにすると共に、バティキュレートフィルタが少なくとも早期に目詰まりすることを防止することを可能とする内燃機関の排気浄化装置を提供する。

【解決手段】 機関排気系に配置されてバティキュレートを捕集するバティキュレートフィルタと、機関排気系のバティキュレートフィルタの上流側に配置されたプラズマ発生装置とを具備し、バティキュレートフィルタは、捕集したバティキュレートを酸化除去する酸化除去機能を有し、酸化除去機能によるバティキュレートの酸化除去能力が不十分となってバティキュレートフィルタにバティキュレートが堆積すると判断される機関状態の時には、プラズマ発生装置を作動することを特徴とする。

図 34



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 機関排気系に配置されてバティキュレート捕集するバティキュレートフィルタと、機関排気系の前記バティキュレートフィルタの上流側に配置されたプラズマ発生装置とを具備し、前記バティキュレートフィルタは、捕集したバティキュレートを酸化除去する酸化除去機能を有し、前記酸化除去機能によるバティキュレートの酸化除去能力が不十分となって前記バティキュレートフィルタにバティキュレートが堆積すると判断される機関状態の時には、前記プラズマ発生装置を作動することを特徴とする内燃機関の排気浄化装置。

【請求項 2】 前記バティキュレートフィルタは、前記酸化除去機能のために活性酸素放出剤を担持し、前記活性酸素放出剤は、周囲に過剰酸素が存在すると酸素を取り込んで酸素を保持しかつ周囲の酸素濃度が低下すると保持した酸素を活性酸素の形で放出するものであり、前記活性酸素がバティキュレートを酸化除去することを特徴とする請求項 1 に記載の内燃機関の排気浄化装置。

【請求項 3】 前記活性酸素放出剤は、周囲に過剰酸素が存在すると  $\text{NO}_x$  を酸素と結合させて保持しかつ周囲の酸素濃度が低下すると結合させた  $\text{NO}_x$  及び酸素を  $\text{NO}_x$  と活性酸素とに分解して放出することを特徴とする請求項 2 に記載の内燃機関の排気浄化装置。

【請求項 4】 前記機関状態は、排気ガスの空燃比を一時的にリッチにする機関運転状態であることを特徴とする請求項 2 又は 3 のいずれかに記載の内燃機関の排気浄化装置。

【請求項 5】 前記機関状態は、排気ガス中の酸素濃度が設定酸素濃度より低くて前記活性酸素放出剤が酸素を取り込んで酸素を保持し難くなる機関運転状態であることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の内燃機関の排気浄化装置。

【請求項 6】 前記機関状態は、煤の発生量が最大となる最悪不活性ガス量よりも燃焼室内の不活性ガス量を多くした燃焼方式のために排気ガス中の酸素濃度が低くて前記活性酸素放出剤が酸素を取り込んで酸素を保持し難くなる機関運転状態であることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の内燃機関の排気浄化装置。

【請求項 7】 前記機関状態は、排気ガス中の  $\text{NO}_x$  濃度が設定  $\text{NO}_x$  濃度より低くて前記活性酸素放出剤が  $\text{NO}_x$  を酸素と結合させて保持し難くなる機関運転状態であることを特徴とする請求項 3 に記載の内燃機関の排気浄化装置。

【請求項 8】 前記機関状態は、燃焼室から排出される単位時間当たりの排出微粒子量が単位時間当たりの前記酸化除去能力を超える機関運転状態であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の内燃機関の排気浄化装置。

【請求項 9】 前記酸化除去能力は、前記バティキュレートフィルタの温度が高いほど大きく、前記機関状態

は、前記バティキュレートフィルタの温度が設定温度より低い機関状態であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の内燃機関の排気浄化装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、内燃機関の排気浄化装置に関する。

【0002】

【従来の技術】内燃機関、特に、ディーゼルエンジンの排気ガス中には煤を主成分とするバティキュレートが含まれている。バティキュレートは有害物質であるために、大気放出以前にバティキュレートを捕集するためのフィルタを機関排気系に配置することが提案されている。このようなフィルタは、目詰まりによる排気抵抗の増加を防止するために、捕集したバティキュレートを焼失させることが必要である。

【0003】このようなフィルタ再生において、バティキュレートは約  $600^{\circ}\text{C}$  となれば着火燃焼するが、ディーゼルエンジンの排気ガス温度は、通常時において  $600^{\circ}\text{C}$  よりかなり低く、通常はフィルタ自身を加熱する等の手段が必要である。

【0004】特公平 7-106290 号公報には、白金族金属とアルカリ土金属酸化物とをフィルタに担持させれば、フィルタ上のバティキュレートは、ディーゼルエンジンの通常時の排気ガス温度である約  $400^{\circ}\text{C}$  で連続的に焼失することが開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このフィルタを使用しても、常に排気ガス温度が  $400^{\circ}\text{C}$  程度となっていないとは限らず、また、運転状態によってはディーゼルエンジンから多量のバティキュレートが放出されることもあり、各時間で焼失できなかったバティキュレートがフィルタ上に徐々に堆積することがある。

【0006】このフィルタにおいて、ある程度バティキュレートが堆積すると、バティキュレート焼失能力が極端に低下するために、もはや自身でフィルタを再生することはできない。このように、この種のフィルタを単に機関排気系に配置しただけでは、比較的早期に目詰まりが発生して機関出力の大幅低下がもたらされることがある。

【0007】従って、本発明の目的は、多量のバティキュレートが大気中へ放出されないようにすると共に、バティキュレートフィルタが少なくとも早期に目詰まりすることを防止することを可能とする内燃機関の排気浄化装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】請求項 1 に記載の発明による排気浄化装置は、機関排気系に配置されてバティキュレートを捕集するバティキュレートフィルタと、機関排気系のバティキュレートフィルタの上流側に配置され

たプラズマ発生装置とを具備し、パティキュレートフィルタは、捕集したパティキュレートを酸化除去する酸化除去機能を有し、酸化除去機能によるパティキュレートの酸化除去能力が不十分となってパティキュレートフィルタにパティキュレートが堆積すると判断される機関状態の時には、プラズマ発生装置を作動することを特徴とする。

【0009】また、請求項2に記載の発明による排気浄化装置は、請求項1に記載の排気浄化装置において、パティキュレートフィルタは、酸化除去機能のために活性酸素放出剤を担持し、活性酸素放出剤は、周囲に過剰酸素が存在すると酸素を取り込んで酸素を保持しかつ周囲の酸素濃度が低下すると保持した酸素を活性酸素の形で放出するものであり、活性酸素がパティキュレートを酸化除去することを特徴とする。

【0010】また、請求項3に記載の発明による排気浄化装置は、請求項2に記載の排気浄化装置において、活性酸素放出剤は、周囲に過剰酸素が存在すると $\text{NO}_x$ を酸素と結合させて保持しかつ周囲の酸素濃度が低下すると結合させた $\text{NO}_x$ 及び酸素を $\text{NO}_x$ と活性酸素とに分解して放出することを特徴とする。

【0011】また、請求項4に記載の発明による排気浄化装置は、請求項2又は3に記載の排気浄化装置において、機関状態は、排気ガスの空燃比を一時的にリッチにする機関運転状態であることを特徴とする。

【0012】また、請求項5に記載の発明による排気浄化装置は、請求項2又は3に記載の排気浄化装置において、機関状態は、排気ガス中の酸素濃度が設定酸素濃度より低くて活性酸素放出剤が酸素を取り込んで酸素を保持し難くなる機関運転状態であることを特徴とする。

【0013】また、請求項6に記載の発明による排気浄化装置は、請求項2又は3に記載の排気浄化装置において、機関状態は、煤の発生量が最大となる最悪不活性ガス量よりも燃焼室内の不活性ガス量を多くした燃焼方式のために排気ガス中の酸素濃度が低くて活性酸素放出剤が酸素を取り込んで酸素を保持し難くなる機関運転状態であることを特徴とする。

【0014】また、請求項7に記載の発明による排気浄化装置は、請求項3に記載の排気浄化装置において、機関状態は、排気ガス中の $\text{NO}_x$ 濃度が設定 $\text{NO}_x$ 濃度より低くて活性酸素放出剤が $\text{NO}_x$ を酸素と結合させて保持し難くなる機関運転状態であることを特徴とする。

【0015】また、請求項8に記載の発明による排気浄化装置は、請求項1～3のいずれかに記載の排気浄化装置において、機関状態は、燃焼室から排出される単位時間当たりの排出微粒子量が単位時間当たりの酸化除去能力を超える機関運転状態であることを特徴とする。

【0016】また、請求項9に記載の発明による排気浄化装置は、請求項1～3のいずれかに記載の排気浄化装置において、酸化除去能力は、パティキュレートフィル

タの温度が高いほど大きく、機関状態は、パティキュレートフィルタの温度が設定温度より低い機関状態であることを特徴とする。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は、本発明による排気浄化装置を備えた4ストロークディーゼルエンジンの概略縦断面図を示しており、図2は図1のディーゼルエンジンにおける燃焼室の拡大縦断面図であり、図3は図1のディーゼルエンジンにおけるシリンダヘッドの底面図である。図1から図3を参照すると、1は機関本体、2はシリンダブロック、3はシリンダヘッド、4はピストン、5aはピストン4の頂面上に形成されたキャビティ、5はキャビティ5a内に形成された燃焼室、6は電気制御式燃料噴射弁、7は一对の吸気弁、8は吸気ポート、9は一对の排気弁、10は排気ポートをそれぞれ示す。吸気ポート8は対応する吸気枝管11を介してサージタンク12に連結され、サージタンク12は吸気ダクト13を介してエアクリーナ14に連結されている。吸気ダクト13内には電気モータ15により駆動されるスロットル弁16が配置されている。一方、排気ポート10は排気マニホルド17へ接続されている。

【0018】また、図1に示されるように、排気マニホルド17内には空燃比センサ21が配置されている。排気マニホルド17の下流には、プラズマ発生装置80と、その下流にパティキュレートフィルタ70が配置されている。このパティキュレートフィルタ70にはパティキュレートフィルタ70の温度を検出するための温度センサが取り付けられている。また、排気マニホルド17とサージタンク12とはEGR通路22を介して互いに連結され、EGR通路22内には電気制御式EGR制御弁23が配置されている。また、EGR通路22周りにはEGR通路22内を流れるEGRガスを冷却するための冷却装置24が配置されている。図1に示されている実施例では機関冷却水が冷却装置24内に導かれ、機関冷却水によってEGRガスが冷却される。

【0019】また、図1において、機関本体1には、機関本体1によって駆動される発電機65が接続されている。60は、発電機65によって発電される電力を蓄えるバッテリーである。50はプラズマ発生装置80への電力供給装置であり、バッテリー60によって提供される直流電圧を交流電圧へ変換すると共に、周波数及び交流電圧値を調整してプラズマ発生装置80への投入電力を変化させることが可能なものである。電子制御ユニット30は、バッテリー60から電力供給を受け、電力供給装置50及び機関本体1を制御する。

【0020】一方、各燃料噴射弁6は燃料供給管25を介して燃料リザーバ、いわゆるコモンレール26に連結されている。このコモンレール26内へは電気制御式の吐出量可変な燃料ポンプ27から燃料が供給され、コモンレール26内に供給された燃料は各燃料供給管25を

介して燃料噴射弁 6 に供給される。コモンレール 26 にはコモンレール 26 内の燃料圧を検出するための燃料圧センサ 28 が取付けられ、燃料圧センサ 28 の出力信号に基づいてコモンレール 26 内の燃料圧が目標燃料圧となるように燃料ポンプ 27 の吐出量が制御されている。

【0021】電子制御ユニット 30 には、空燃比センサ 21 の出力信号と、燃料圧センサ 28 の出力信号と、温度センサの出力信号とが入力されている。また、アクセルペダル 40 にはアクセルペダル 40 の踏み量  $L$  に比例した出力電圧を発生する負荷センサ 41 が接続され、電子制御ユニット 30 には、負荷センサ 41 の出力信号も入力され、さらに、クランクシャフトが例えば  $30^\circ$  回転する毎に出力パルスが発生するクランク角センサ 42 の出力信号も入力される。こうして、電子制御ユニット 30 は、各種信号に基づき、燃料噴射弁 6、電気モータ 15、EGR 制御弁 23、燃料ポンプ 27、及び、プラズマ発生装置 80 を作動する。

【0022】図 2 及び図 3 に示されるように本発明による実施例では燃焼噴射弁 6 が 6 個のノズル口を有するホールノズルからなり、燃焼噴射弁 6 のノズル口からは水平面に対しやや下向きに等角度間隔をもって燃料 F が噴射される。図 3 に示されるように 6 個の燃料噴霧 F のうちで 2 個の燃料噴霧 F は各排気弁 9 の弁体の下側面に沿って飛散する。図 2 及び図 3 は圧縮行程末期に燃料噴射が行われた時を示している。この時には燃料噴霧 F はキャピティ 5a の内周面に向けて進み、次いで着火燃焼させられる。

【0023】図 4 は排気行程中において排気弁 9 のリフト量が最大の時に燃料噴射弁 6 から追加の燃料が噴射された場合を示している。即ち、図 5 に示されるように圧縮上死点付近において主噴射  $Q_m$  が行われ、次いで排気行程の中ほどで追加の燃料  $Q_a$  が噴射された場合を示している。この場合、排気弁 9 の弁体方向に進む燃料噴霧 F は排気弁 9 の傘部背面と排気ポート 10 との間に向かう。即ち、言い換えると燃料噴射弁 6 の 6 個のノズル口のうちの 2 個のノズル口は、排気弁 9 が開弁している時に追加の燃料  $Q_a$  の噴射が行われると燃料噴霧 F が排気弁 9 の傘部背面と排気ポート 10 との間に向かうように形成されている。なお、図 4 に示す実施例ではこの時に燃料噴霧 F が排気弁 9 の傘部背面に衝突し、排気弁 9 の傘部背面に衝突した燃料噴霧 F は排気弁 9 の傘部背面上において反射し、排気ポート 10 内に向かう。なお通常は追加の燃料  $Q_a$  は噴射されず、主噴射  $Q_m$  のみが行われる。

【0024】以下、本実施例で実施する燃焼方式である低温燃焼について説明する。図 6 は機関低負荷運転時においてスロットル弁 16 の開度及び EGR 率を変化させることにより空燃比  $A/F$  (図 6 の横軸) を変化させた時の出力トルクの変化及びスモーク、HC、CO、 $NO_x$  の排出量の変化を示す実験例を表している。図 6 から

わかるようにこの実験例では空燃比  $A/F$  が小さくなるほど EGR 率が大きくなり、理論空燃比 ( $\approx 14.6$ ) 以下のときには EGR 率は 65 パーセント以上となっている。

【0025】図 6 に示されるように EGR 率を増大することにより空燃比  $A/F$  を小さくしていくと EGR 率が 40 パーセント付近となり空燃比  $A/F$  が 30 程度になった時にスモークの発生量が増大を開始する。次いで、更に EGR 率を高め、空燃比  $A/F$  を小さくするとスモークの発生量が急激に増大してピークに達する。次いで更に EGR 率を高め、空燃比  $A/F$  を小さくすると今度はスモークが急激に低下し、EGR 率を 65 パーセント以上とし、空燃比  $A/F$  が 15.0 付近になるとスモークがほぼ零となる。即ち、煤がほとんど発生しなくなる。この時に機関の出力トルクは若干低下し、また  $NO_x$  の発生量がかなり低くなる。一方、この時に HC 及び CO の発生量は増大し始める。

【0026】図 7 (A) は空燃比  $A/F$  が 21 付近でスモークの発生量が最も多い時の燃焼室 5 内の燃焼圧変化を示しており、図 7 (B) は空燃比  $A/F$  が 18 付近でスモークの発生量がほぼ零の時の燃焼室 5 内における燃焼圧の変化を示している。図 7 (A) と図 7 (B) とを比較すればわかるようにスモークの発生量がほぼ零である図 7 (B) に示す場合はスモークの発生量が多い図 7 (A) に示す場合に比べて燃焼圧が低いことがわかる。

【0027】図 6 及び図 7 に示される実験結果から次のことが言える。即ち、まず第一に空燃比  $A/F$  が 15.0 以下でスモークの発生量がほぼ零の時には図 6 に示されるように  $NO_x$  発生量がかなり低下する。 $NO_x$  の発生量が低下したということは燃焼室 5 内の燃焼温度が低下していることを意味しており、従って煤がほとんど発生しない時には燃焼室 5 内の燃焼温度が低くなっていると言える。同じことが図 7 からとも言える。即ち、煤がほとんど発生していない図 7 (B) に示す状態では燃焼圧が低くなっており、従ってこの時に燃焼室 5 内の燃焼温度は低くなっていることになる。

【0028】第二にスモークの発生量、即ち煤の発生量がほぼ零になると図 6 に示されるように HC 及び CO の排出量が増大する。このことは炭化水素が煤まで成長せずに排出されることを意味している。即ち、燃料中に含まれる図 6 に示されるような直鎖状炭化水素や芳香族炭化水素は酸素不足の状態温度上昇させられると熱分解して煤の前駆体が形成され、次いで主に炭素原子が集合した固体からなる煤が生成される。この場合、実際の煤の生成過程は複雑であり、煤の前駆体がどのような形態をとるかは明確ではないがいずれにしても図 6 に示されるような炭化水素は煤の前駆体を経て煤まで成長することになる。従って、上述したように煤の発生量がほぼ零になると図 6 に示される如く HC 及び CO の排出量が増大するがこの時の HC は煤の前駆体又はその前の状態の

炭化水素である。このHCが機関排気通路内で後燃えし、排気ガス温度が上昇することとなる。

【0029】図6及び図7に示される実験結果に基づくこれらの考察をまとめると燃焼室5内の燃焼温度が低い時には煤の発生量がほぼ零になり、この時には煤の前駆体又はその前の状態の炭化水素が燃焼室5から排出されることになる。このことについて更に詳細に実験研究を重ねた結果、燃焼室5内における燃料及びその周囲のガス温度が或る温度以下である場合には煤の成長過程が途中で停止してしまい、即ち煤が全く発生せず、燃焼室5内における燃料及びその周囲の温度が或る温度以下になると煤が生成されることが判明したのである。

【0030】ところで煤の前駆体の状態で炭化水素の生成過程が停止する時の燃料及びその周囲の温度、即ち上述の或る温度は燃料の種類や空燃比や圧縮比等の種々の要因によって変化するので何度であるかとは言えないが、この或る温度は $\text{NO}_x$ の発生量と深い関係を有しており、従ってこの或る温度は $\text{NO}_x$ の発生量から或る程度規定することができる。即ち、EGR率が増大するほど燃焼時の燃料及びその周囲のガス温度は低下し、 $\text{NO}_x$ の発生量が低下する。この時において $\text{NO}_x$ の発生量が10 p.p.m 前後又はそれ以下になった時に煤がほとんど発生しなくなる。従って上述の或る温度は $\text{NO}_x$ の発生量が10 p.p.m 前後又はそれ以下になった時の温度にほぼ一致する。

【0031】一旦、煤が生成されるとこの煤は単に酸化機能を有する触媒を用いた後処理でもって浄化することはできない。これに対して煤の前駆体又はその前の状態の炭化水素は酸化機能を有する触媒を用いた後処理でもって容易に浄化することができる。このように、 $\text{NO}_x$ の発生量を低減すると共に炭化水素を煤の前駆体又はその前の状態で燃焼室5から排出させることは排気ガスの浄化に極めて有効である。

【0032】さて、煤が生成される前の状態で炭化水素の成長を停止させるには燃焼室5内における燃焼時の燃料及びその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度に抑制する必要がある。この場合、燃料及びその周囲のガス温度を抑制するには燃料が燃焼した際の燃料周りにおけるガスの吸熱作用が極めて大きく影響することが判明している。

【0033】即ち、燃料周りに空気しか存在しないと蒸発した燃料はただちに空気中の酸素と反応して燃焼する。この場合、燃料から離れている空気の温度はさほど上昇せず、燃料周りの温度のみが局所的に極めて高くなる。即ち、この時には燃料から離れている空気は燃料の燃焼熱の吸熱作用をほとんど行わない。この場合には燃焼温度が局所的に極めて高くなるために、この燃焼熱を受けた未燃炭化水素は煤を生成することになる。

【0034】一方、多量の不活性ガスと少量の空気の混合ガス中に燃料が存在する場合には若干状況が異なる。

この場合には蒸発燃料は周囲に拡散して不活性ガス中に混在する酸素と反応し、燃焼することになる。この場合には燃焼熱は周りの不活性ガスに吸収されるために燃焼温度はさほど上昇しなくなる。即ち、燃焼温度を低く抑えることができることになる。即ち、燃焼温度を抑制するには不活性ガスの存在が重要な役割を果たしており、不活性ガスの吸熱作用によって燃焼温度を低く抑えることができることになる。

【0035】この場合、燃料及びその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度に抑制するにはそうするのに十分な熱量を吸収しうだけの不活性ガス量が必要となる。従って燃料量が増大すれば必要となる不活性ガス量はそれに伴って増大することになる。なお、この場合、不活性ガスの比熱が大きいほど吸熱作用は強力となり、従って不活性ガスは比熱の大きなガスが好ましいことになる。この点、 $\text{CO}_2$ やEGRガスは比較的比熱が大きいので不活性ガスとしてEGRガスを用いることは好ましいと言える。

【0036】図9は不活性ガスとしてEGRガスを用い、EGRガスの冷却度合を変えたときのEGR率とスモークとの関係を示している。即ち、図9において曲線AはEGRガスを強力に冷却してEGRガス温をほぼ90°Cに維持した場合を示しており、曲線Bは小型の冷却装置でEGRガスを冷却した場合を示しており、曲線CはEGRガスを強制的に冷却していない場合を示している。

【0037】図9の曲線Aで示されるようにEGRガスを強力に冷却した場合にはEGR率が50パーセントよりも少し低いところで煤の発生量がピークとなり、この場合にはEGR率をほぼ55パーセント以上にすれば煤がほとんど発生しなくなる。一方、図9の曲線Bで示されるようにEGRガスを少し冷却した場合にはEGR率が50パーセントよりも少し高いところで煤の発生量がピークとなり、この場合にはEGR率をほぼ65パーセント以上にすれば煤がほとんど発生しなくなる。

【0038】また、図9の曲線Cで示されるようにEGRガスを強制的に冷却していない場合にはEGR率が55パーセントの付近で煤の発生量がピークとなり、この場合にはEGR率をほぼ70パーセント以上にすれば煤がほとんど発生しなくなる。なお、図9は機関負荷が比較的高い時のスモークの発生量を示しており、機関負荷が小さくなると煤の発生量がピークとなるEGR率は若干低下し、煤がほとんど発生しなくなるEGR率の下限も若干低下する。このように煤がほとんど発生しなくなるEGR率の下限はEGRガスの冷却度合や機関負荷に応じて変化する。

【0039】図10は不活性ガスとしてEGRガスを用いた場合において燃焼時の燃料及びその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度にするために必要なEGRガスと空気の混合ガス量、及びこの混合ガス量

中の空気の割合、及びこの混合ガス中のEGRガスの割合を示している。なお、図10において縦軸は燃焼室5内に吸入される全吸入ガス量を示しており、鎖線Yは過給が行われないときに燃焼室5内に吸入しうる全吸入ガス量を示している。また、横軸は要求負荷を示しており、Z1は低負荷運転領域を示している。

【0040】図10を参照すると空気の割合、即ち混合ガス中の空気量は噴射された燃料を完全に燃焼させるのに必要な空気量を示している。即ち、図10に示される場合では空気量と噴射燃料量との比は理論空燃比となっている。一方、図10においてEGRガスの割合、即ち混合ガス中のEGRガス量は噴射燃料が燃焼させられたときに燃料及びその周囲のガス温度を煤が形成される温度よりも低い温度にするのに必要最低限のEGRガス量を示している。このEGRガス量はEGR率で表すとほぼ55パーセント以上であり、図10に示す実施例では70パーセント以上である。即ち、燃焼室5内に吸入された全吸入ガス量を図10において実線Xとし、この全吸入ガス量Xのうちの空気量とEGRガス量との割合を

図10に示すような割合にすると燃料及びその周囲のガス温度は煤が生成される温度よりも低い温度となり、斯くして煤が全く発生しなくなる。また、このときのNO<sub>x</sub>発生量は10p.p.m 前後、又はそれ以下であり、従ってNO<sub>x</sub>の発生量は極めて少量となる。

【0041】燃料噴射量が増大すれば燃料が燃焼した際の発熱量が増大するので燃料及びその周囲のガス温度を煤が生成される温度よりも低い温度に維持するためにはEGRガスによる熱の吸収量を増大しなければならない。従って図10に示されるようにEGRガス量は噴射燃料量が増大するにつれて増大させなければならない。即ち、EGRガス量は要求負荷が高くなるにつれて増大する必要がある。

【0042】一方、図10の負荷領域Z2では煤の発生を阻止するのに必要な全吸入ガス量Xが吸入しうる全吸入ガス量Yを超えてしまう。従ってこの場合、煤の発生を阻止するのに必要な全吸入ガス量Xを燃焼室5内に供給するにはEGRガス及び吸入空気の双方、或いはEGRガスを過給又は加圧する必要がある。EGRガス等を過給又は加圧しない場合には負荷領域Z2では全吸入ガス量Xは吸入しうる全吸入ガス量Yに一致する。従ってこの場合、煤の発生を阻止するためには空気量を若干減少させてEGRガス量を増大すると共に空燃比がリッチのもとで燃料を燃焼させることになる。

【0043】前述したように図10は燃料を理論空燃比のもとで燃焼させる場合を示しているが図10に示される低負荷運転領域Z1において空気量を図10に示される空気量よりも少なくとも、即ち空燃比をリッチにしても煤の発生を阻止しつつNO<sub>x</sub>の発生量を10p.p.m 前後又はそれ以下にすることができ、また図10に示される低負荷領域Z1において空気量を図10に示される空

気量よりも多くしても、即ち空燃比の平均値を17から18のリーンにしても煤の発生を阻止しつつNO<sub>x</sub>の発生量を10p.p.m 前後又はそれ以下にすることができ

る。【0044】即ち、空燃比がリッチにされると燃料が過剰となるが燃焼温度が低い温度に抑制されているために過剰な燃料は煤まで成長せず、斯くして煤が生成されることがない。また、このときNO<sub>x</sub>も極めて少量しか発生しない。一方、平均空燃比がリーンのとき、或いは空燃比が理論空燃比の時でも燃焼温度が高くなれば少量の煤が生成されるが本発明では燃焼温度が低い温度に抑制されているので煤は全く生成されない。更に、NO<sub>x</sub>も極めて少量しか発生しない。

【0045】このように、機関低負荷運転領域Z1では空燃比にかかわらずに、即ち空燃比がリッチであろうと、理論空燃比であろうと、或いは平均空燃比がリーンであろうと煤が発生せず、NO<sub>x</sub>の発生量が極めて少量となる。従って燃料消費率の向上を考えるとこのとき平均空燃比をリーンにすることが好ましいと言える。

【0046】ところで燃焼室内における燃焼時の燃料及びその周囲のガス温度を炭化水素の成長が途中で停止する温度以下に抑制しうるのは燃焼による発熱量が少ない比較的機関負荷が低いときに限られる。従って本発明による実施例では機関負荷が比較的低い時には燃焼時の燃料及びその周囲のガス温度を炭化水素の成長が途中で停止する温度以下に抑制して第一燃焼、即ち低温燃焼を行うようにし、機関負荷が比較的高い時には第二燃焼、即ち従来より普通に行われている燃焼を行うようにしている。なお、ここで第一燃焼、即ち低温燃焼とはこれまでの説明から明らかなように煤の発生量が最大となる最悪不活性ガス量よりも燃焼室内の不活性ガス量が多く煤がほとんど発生しない燃焼のことを言い、第二燃焼、即ち従来より普通に行われている燃焼とは煤の発生量が最大となる最悪不活性ガス量よりも燃焼室内の不活性ガス量が少ない燃焼のことを言う。

【0047】図11は第一燃焼、即ち低温燃焼が行われる第一の運転領域Iと、第二燃焼、即ち従来の燃焼方法による燃焼が行われる第二の燃焼領域IIとを示している。なお、図11において縦軸Lはアクセルペダル40の踏み込み量、即ち要求負荷を示しており、横軸Nは機関回転数を示している。また、図11においてX(N)は第一の運転領域Iと第二の運転領域IIとの第一の境界を示しており、Y(N)は第一の運転領域Iと第二の運転領域IIとの第二の境界を示している。第一の運転領域Iから第二の運転領域IIへの運転領域の変化判断は第一の境界X(N)に基づいて行われ、第二の運転領域IIから第一の運転領域Iへの運転領域の変化判断は第二の境界Y(N)に基づいて行われる。

【0048】即ち、機関の運転状態が第一の運転領域Iにあって低温燃焼が行われている時に要求負荷Lが機関

回転数 $N$ の関数である第一の境界 $X(N)$ を超えると運転領域が第二の運転領域IIに移ったと判断され、従来の燃焼方法による燃焼が行われる。次いで要求負荷 $L$ が機関回転数 $N$ の関数である第二の境界 $Y(N)$ よりも低くなると運転領域が第一の運転領域Iに移ったと判断され、再び低温燃焼が行われる。

【0049】図12は空燃比センサ21の出力を示している。図12に示されるように空燃比センサ21の出力電流 $I$ は空燃比 $A/F$ に応じて変化する。従って空燃比センサ21の出力電流 $I$ から空燃比を知ることができ

る。次に図13を参照しつつ第一の運転領域I及び第二の運転領域IIにおける運転制御について概略的に説明する。

【0050】図13は要求負荷 $L$ に対するスロットル弁16の開度、EGR制御弁23の開度、EGR率、空燃比、噴射時期及び噴射量を示している。図13に示されるように要求負荷 $L$ の低い第一の運転領域Iではスロットル弁16の開度は要求負荷 $L$ が高くなるにつれて全閉近くから半開程度まで徐々に増大させられ、EGR制御弁23の開度は要求負荷 $L$ が高くなるにつれて全閉近くから全開まで徐々に増大させられる。また、図13に示される例では第一の運転領域IではEGR率がほぼ70パーセントとされており、空燃比はわずかにリーンなリーン空燃比とされている。

【0051】言い換えると第一の運転領域IではEGR率がほぼ70パーセントとなり、空燃比がわずかにリーンなリーン空燃比となるようにスロットル弁16の開度及びEGR制御弁23の開度が制御される。なお、この時の空燃比は空燃比センサ21の出力信号に基づいてEGR制御弁23の開度を補正することによって目標

リーン空燃比に制御される。また、第一の運転領域Iでは圧縮上死点TDC前に燃料噴射が行われる。この場合、噴射開始時期 $\theta S$ は要求負荷 $L$ が高くなるにつれて遅くなり、噴射完了時期 $\theta E$ も噴射開始時期 $\theta S$ が遅くなるにつれて遅くなる。

【0052】なお、アイドル運転時にはスロットル弁16は全閉近くまで閉弁され、この時にはEGR制御弁23も全閉近くまで閉弁させられる。スロットル弁16を全閉近くまで閉弁すると圧縮始めの燃焼室5内の圧力が低くなるために圧縮圧力が小さくなる。圧縮圧力が小さくなるとピストン4による圧縮仕事小さくなるために機関本体1の振動が小さくなる。即ち、アイドル運転時には機関本体1の振動を抑制するためにスロットル弁16が全閉近くまで閉弁させられる。

【0053】一方、機関の運転領域が第一の運転領域Iから第二の運転領域IIに変わるとスロットル弁16の開度が半開状態から全開方向へステップ状に増大させられる。この時に図13に示す例ではEGR率がほぼ70パーセントから40パーセント以下までステップ状に減少させられ、空燃比がステップ状に大きくされる。即ち、

EGR率が多量のスモークを発生するEGR率範囲(図16)を飛び越えるので機関の運転領域が第一の運転領域Iから第二の運転領域IIに変わるときに多量のスモークが発生することがない。

【0054】第二の運転領域IIでは従来から行われている燃焼が行われる。この燃焼方法では煤及び $NO_x$ が若干発生するが低温燃焼に比べて熱効率は高く、従って機関の運転領域が第一の運転領域Iから第二の運転領域IIに変わると図13に示されるように噴射量がステップ状に低減させられる。

【0055】第二の運転領域IIではスロットル弁16は一部を除いて全開状態に保持され、EGR制御弁23の開度は要求負荷 $L$ が高くなると次第に小さくされる。この運転領域IIではEGR率は要求負荷 $L$ が高くなるほど低くなり、空燃比は要求負荷 $L$ が高くなるほど小さくなる。ただし、空燃比は要求負荷 $L$ が高くなってもリーン空燃比とされる。また、第二の運転領域IIでは噴射開始時期 $\theta S$ は圧縮上死点TDC付近とされる。

【0056】図14は第一の運転領域Iにおける空燃比 $A/F$ を示している。図14において、 $A/F=15.5$ 、 $A/F=16$ 、 $A/F=17$ 、 $A/F=18$ で示される各曲線は夫々空燃比が15.5、16、17、18である時を示しており、各曲線間の空燃比は比例配分により定められる。図14に示されるように第一の運転領域Iでは空燃比がリーンとなっており、更に第一の運転領域Iでは要求負荷 $L$ が低くなるほど空燃比 $A/F$ がリーンとされる。

【0057】即ち、要求負荷 $L$ が低くなるほど燃焼による発熱量が少なくなる。従って要求負荷 $L$ が低くなるほどEGR率を低下させても低温燃焼を行うことができる。EGR率を低下させると空燃比は大きくなり、従って図14に示されるように要求負荷 $L$ が低くなるにつれて空燃比 $A/F$ が大きくなる。空燃比 $A/F$ が大きくなるほど燃料消費率は向上し、従ってできる限り空燃比をリーンにするために本実施例では要求負荷 $L$ が低くなるにつれて空燃比 $A/F$ が大きくなる。

【0058】なお、空燃比を図14に示す目標空燃比とするのに必要なスロットル弁16の目標開度 $ST$ が図15(A)に示されるように要求負荷 $L$ 及び機関回転数 $N$ の関数としてマップの形で予めROM内に記憶されており、空燃比を図14に示す目標空燃比とするのに必要なEGR制御弁23の目標開度 $SE$ が図15(B)に示されるように要求負荷 $L$ 及び機関回転数 $N$ の関数としてマップの形で予めROM内に記憶されている。

【0059】図16は第二燃焼、即ち従来の燃焼方法による普通の燃焼が行われるときの目標空燃比を示している。なお、図16において $A/F=24$ 、 $A/F=35$ 、 $A/F=45$ 、 $A/F=60$ で示される各曲線は夫々目標空燃比24、35、45、60を示している。空燃比をこの目標空燃比とするのに必要なスロットル弁1

6の目標開度STが図17(A)に示されるように要求負荷L及び機関回転数Nの関数としてマップの形で予めROM内に記憶されており、空燃比をこの目標空燃比とするのに必要なEGR制御弁23の目標開度SEが図17(B)に示されるように要求負荷L及び機関回転数Nの関数としてマップの形で予めROM内に記憶されている。

【0060】こうして、本実施例のディーゼルエンジンでは、アクセルペダル40の踏み込み量L及び機関回転数Nとに基づき、第一燃焼、すなわち、低温燃焼と、第二燃焼、すなわち、普通の燃焼とが切り換えられ、各燃焼において、アクセルペダル40の踏み込み量L及び機関回転数Nとに基づき、図15又は図17に示すマップによってスロットル弁16及びEGR制御弁23の開度制御が実施される。

【0061】次に、図18にパティキュレートフィルタ70の構造を示す。なお、図18において、(A)はパティキュレートフィルタ70の正面図であり、(B)は側面断面図である。これらの図に示すように、本パティキュレートフィルタ70は、長円正面形状を有し、例えば、コージライトのような多孔質材料から形成されたハニカム構造をなすウォールフロー型であり、多数の軸線方向に延在する隔壁54によって細分された多数の軸線方向空間を有している。隣接する二つの軸線方向空間において、栓53によって、一方は排気下流側で閉鎖され、他方は排気上流側で閉鎖される。こうして、隣接する二つの軸線方向空間の一方は排気ガスの流入通路50となり、他方は流出通路51となり、排気ガスは、図18(B)に矢印で示すように、必ず隔壁54を通過する。排気ガス中のパティキュレートは、隔壁54の細孔の大きさに比較して非常に小さいものであるが、隔壁54の排気上流側表面上及び隔壁54内の細孔表面上に衝突して捕集される。こうして、各隔壁54は、パティキュレートを捕集する捕集壁として機能する。本パティキュレートフィルタ70において、捕集されたパティキュレートを酸化除去するために、隔壁54の両側表面上、及び、好ましくは隔壁54内の細孔表面上にもアルミナ等を使用して以下に説明する活性酸素放出剤と貴金属触媒とが担持されている。

【0062】活性酸素放出剤とは、活性酸素を放出することによってパティキュレートの酸化を促進するものであり、好ましくは、周囲に過剰酸素が存在すると酸素を取込んで酸素を保持しかつ周囲の酸素濃度が低下すると保持した酸素を活性酸素の形で放出するものである。

【0063】貴金属触媒としては、通常、白金Ptが用いられており、活性酸素放出剤としてカリウムK、ナトリウムNa、リチウムLi、セシウムCs、ルビジウムRbのようなアルカリ金属、バリウムBa、カルシウムCa、ストロンチウムSrのようなアルカリ土類金属、ランタンLa、イットリウムYのような希土類、及び遷

移金属から選ばれた少なくとも一つが用いられている。

【0064】なお、この場合、活性酸素放出剤としては、カルシウムCaよりもイオン化傾向の高いアルカリ金属又はアルカリ土類金属、即ちカリウムK、リチウムLi、セシウムCs、ルビジウムRb、バリウムBa、ストロンチウムSrを用いることが好ましい。

【0065】次に、このような活性酸素放出剤を担持するパティキュレートフィルタによって、捕集されたパティキュレートがどのように酸化除去されるかについて、白金Pt及びカリウムKの場合を例にとって説明する。他の貴金属、アルカリ金属、アルカリ土類金属、希土類、遷移金属を用いても同様なパティキュレート除去作用が行われる。

【0066】ディーゼルエンジンでは通常空気過剰のもとで燃焼が行われ、従って排気ガスは多量の過剰空気を含んでいる。即ち、吸気通路及び燃焼室内に供給された空気と燃料との比を排気ガスの空燃比と称すると、この空燃比はリーンとなっている。また、燃焼室内ではNOが発生するので排気ガス中にはNOが含まれている。また、燃料中にはイオウSが含まれており、このイオウSは燃焼室内で酸素と反応してSO<sub>2</sub>となる。従って排気ガス中にはSO<sub>2</sub>が含まれている。従って過剰酸素、NO及びSO<sub>2</sub>を含んだ排気ガスがパティキュレートフィルタ70の排気上流側へ流入することになる。

【0067】図19(A)及び(B)はパティキュレートフィルタ70における排気ガス接触面の拡大図を模式的に表している。なお、図19(A)及び(B)において60は白金Ptの粒子を示しており、61はカリウムKを含んでいる活性酸素放出剤を示している。

【0068】上述したように排気ガス中には多量の過剰酸素が含まれているので排気ガスがパティキュレートフィルタの排気ガス接触面内に接触すると、図19(A)に示されるようにこれら酸素O<sub>2</sub>がO<sub>2</sub><sup>-</sup>又はO<sup>2-</sup>の形で白金Ptの表面に付着する。一方、排気ガス中のNOは白金Ptの表面上でO<sub>2</sub><sup>-</sup>又はO<sup>2-</sup>と反応し、NO<sub>2</sub>となる(2NO+O<sub>2</sub>→2NO<sub>2</sub>)。次いで生成されたNO<sub>2</sub>の一部は白金Pt上で酸化されつつ活性酸素放出剤61内に吸収され、カリウムKと結合しながら図19(A)に示されるように硝酸イオンNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の形で活性酸素放出剤61内に拡散し、硝酸カリウムKNO<sub>3</sub>を生成する。このようにして、本実施例では、排気ガスに含まれる有害なNO<sub>x</sub>をパティキュレートフィルタ70に吸収し、大気中への放出量を大幅に減少させることができる。

【0069】一方、上述したように排気ガス中にはSO<sub>2</sub>も含まれており、このSO<sub>2</sub>もNOと同様なメカニズムによって活性酸素放出剤61内に吸収される。即ち、上述したように酸素O<sub>2</sub>がO<sub>2</sub><sup>-</sup>又はO<sup>2-</sup>の形で白金Ptの表面に付着しており、排気ガス中のSO<sub>2</sub>は白金Ptの表面上でO<sub>2</sub><sup>-</sup>又はO<sup>2-</sup>と反応してSO<sub>3</sub>となる。次いで生成されたSO<sub>3</sub>の一部は白金Pt上で更に酸化されつつ



活性酸素放出剤61内に吸収され、カリウムKと結合しながら硫酸イオン $\text{SO}_4^{2-}$ の形で活性酸素放出剤61内に拡散し、硫酸カリウム $\text{K}_2\text{SO}_4$ を生成する。このようにして活性酸素放出触媒61内には硝酸カリウム $\text{KNO}_3$ 及び硫酸カリウム $\text{K}_2\text{SO}_4$ が生成される。

【0070】排気ガス中のパティキュレートは、図19(B)において62で示されるように、パティキュレートフィルタに担持された活性酸素放出剤61の表面上に付着する。この時、パティキュレート62と活性酸素放出剤61との接触面では酸素濃度が低下する。酸素濃度が低下すると酸素濃度の高い活性酸素放出剤61内との間で濃度差が生じ、斯くして活性酸素放出剤61内の酸素がパティキュレート62と活性酸素放出剤61との接触面に向けて移動しようとする。その結果、活性酸素放出剤61内に形成されている硝酸カリウム $\text{KNO}_3$ がカリウムKと酸素OとNOとに分解され、酸素Oがパティキュレート62と活性酸素放出剤61との接触面に向かい、NOが活性酸素放出剤61から外部に放出される。外部に放出されたNOは下流側の白金Pt上において酸化され、再び活性酸素放出剤61内に吸収される。

【0071】一方、この時、活性酸素放出剤61内に形成されている硫酸カリウム $\text{K}_2\text{SO}_4$ もカリウムKと酸素Oと $\text{SO}_2$ とに分解され、酸素Oがパティキュレート62と活性酸素放出剤61との接触面に向かい、 $\text{SO}_2$ が活性酸素放出剤61から外部に放出される。外部に放出された $\text{SO}_2$ は下流側の白金Pt上において酸化され、再び活性酸素放出剤61内に吸収される。但し、硫酸カリウム $\text{K}_2\text{SO}_4$ は、安定化しているために、硝酸カリウム $\text{KNO}_3$ に比べて活性酸素を放出し難い。

【0072】一方、パティキュレート62と活性酸素放出剤61との接触面に向かう酸素Oは硝酸カリウム $\text{KNO}_3$ や硫酸カリウム $\text{K}_2\text{SO}_4$ のような化合物から分解された酸素である。化合物から分解された酸素Oは高いエネルギーを有しており、極めて高い活性を有する。従ってパティキュレート62と活性酸素放出剤61との接触面に向かう酸素は活性酸素Oとなっている。これら活性酸素Oがパティキュレート62に接触するとパティキュレート62は輝炎を発することなく酸化せしめられる。また、パティキュレート62を酸化する活性酸素Oは、活性酸素放出剤61へNO及び $\text{SO}_2$ が吸収される時にも放出される。

【0073】ところで白金Pt及び活性酸素放出剤61はパティキュレートフィルタの温度が高くなるほど活性化するので単位時間当りに活性酸素放出剤61から放出される活性酸素Oの量はパティキュレートフィルタの温度が高くなるほど増大する。また、当然のことながら、パティキュレート自身の温度が高いほど酸化除去され易くなる。従ってパティキュレートフィルタ上において単位時間当りに輝炎を発することなくパティキュレートを酸化除去可能な酸化除去可能微粒子量はパティキュレ

トフィルタの温度が高くなるほど増大する。

【0074】図20の実線は単位時間当りに輝炎を発することなく酸化除去可能な酸化除去可能微粒子量Gを示している。なお、図20において横軸はパティキュレートフィルタの温度TFを示している。単位時間当りに燃焼室から排出されるパティキュレートの量を排出微粒子量Mと称するとこの排出微粒子量Mが酸化除去可能微粒子量Gよりも少ない時、即ち図20の領域Iでは燃焼室から排出された全てのパティキュレートがパティキュレートフィルタに捕集されると短時間のうちにパティキュレートフィルタにおいて輝炎を発することなく酸化除去せしめられる。ここで、短時間とは、酸化除去され易いパティキュレートでは数秒であるが、酸化除去され難いパティキュレートでは数十分となることもある。

【0075】これに対し、排出微粒子量Mが酸化除去可能微粒子量Gよりも多い時、即ち図20の領域IIでは全てのパティキュレートを酸化するには活性酸素量が不足している。図21(A)～(C)はこのような場合におけるパティキュレートの酸化の様子を示している。

【0076】即ち、全てのパティキュレートを酸化するには活性酸素量が不足している場合には図21(A)に示すようにパティキュレート62が活性酸素放出剤61上に付着するとパティキュレート62の一部のみが酸化され、十分に酸化されなかったパティキュレート部分がパティキュレートフィルタの排気上流側面上に残留する。次いで活性酸素量が不足している状態が継続すると次から次へと酸化されなかったパティキュレート部分が排気上流側面上に残留し、その結果図21(B)に示されるようにパティキュレートフィルタの排気上流面が残留パティキュレート部分63によって覆われるようになる。

【0077】このような残留パティキュレート部分63は、次第に酸化され難いカーボン質に変質し、また、排気上流面が残留パティキュレート部分63によって覆われると白金PtによるNO、 $\text{SO}_2$ の酸化作用及び活性酸素放出剤61による活性酸素の放出作用が抑制される。それにより、時間を掛ければ徐々に残留パティキュレート部分63を酸化させることができるが、図21(C)に示されるように残留パティキュレート部分63の上に別のパティキュレート64が次から次へと堆積して、即ち、パティキュレートが積層状に堆積すると、これらパティキュレートは、白金Ptや活性酸素放出剤から距離を隔てているために、例えば酸化され易いパティキュレートであっても活性酸素によって酸化されることはない。従ってこのパティキュレート64上に更に別のパティキュレートが次から次へと堆積する。即ち、排出微粒子量Mが酸化除去可能微粒子量Gよりも多い状態が継続するとパティキュレートフィルタ上にはパティキュレートが積層状に堆積してしまふ。

【0078】このように図20の領域Iではパティキュ

17

レートはバティキュレートフィルタ上において輝炎を発生することなく短時間のうちに酸化せしめられ、図20の領域IIではバティキュレートがバティキュレートフィルタ上に積層状に堆積する。従って、排出微粒子量Mと酸化除去可能微粒子量Gとの関係を領域Iにすれば、バティキュレートフィルタ上へのバティキュレートの堆積を防止することができる。しかしながら、これが常に実現されるとは限らず、何もしなければバティキュレートフィルタにはバティキュレートが堆積することがある。

【0079】バティキュレートの堆積を防止するために、本実施例のバティキュレートフィルタは、以下に詳細に説明するように、排気上流側と排気下流側とを逆転することが可能な構成を採用している。図22は本実施例の排気浄化装置を示す平面図であり、図23はその側面図である。本排気浄化装置は、排気マニホールド17の下流側に排気管18を介して接続された切換部71と、バティキュレートフィルタ70と、バティキュレートフィルタ70の一方側と切換部71とを接続する第一接続部72aと、バティキュレートフィルタ70の他方側と切換部71とを接続する第二接続部72bと、切換部71の下流側の排気通路73とを具備している。切換部71は、切換部71内で排気流れを遮断することを可能とする弁体71aを具備している。弁体71は、負圧アクチュエータ又はステップモータ等によって駆動される。弁体71aの第一遮断位置において、切換部71内の上流側が第一接続部72aと連通されると共に切換部71内の下流側が第二接続部72bと連通され、排気ガスは、図22に矢印で示すように、バティキュレートフィルタ70の一方側から他方側へ流れる。

【0080】また、図24は、弁体71aの第二遮断位置を示している。この遮断位置において、切換部71内の上流側が第二接続部72bと連通されると共に切換部71内の下流側が第一接続部72aと連通され、排気ガスは、図24に矢印で示すように、バティキュレートフィルタ70の他方側から一方側へ流れる。こうして、弁体71aを第一遮断位置及び第二遮断位置の一方から他方へ切り換えることによって、バティキュレートフィルタ70へ流入する排気ガスの方向を逆転することができ、すなわち、バティキュレートフィルタ70の排気上流側と排気下流側とを逆転することが可能となる。

【0081】図26は、バティキュレートフィルタの隔壁54の拡大断面図である。図26(A)に格子で示すように、排気ガスが主に衝突する隔壁54の排気上流側表面及び細孔内の排気ガス流対向面は、一方の捕集面としてバティキュレートを衝突捕集し、活性酸素放出剤により酸化除去するが、この酸化除去が不十分となってバティキュレートが残留することがある。この時点では、バティキュレートフィルタの排気抵抗は車両走行に悪影響を与えるほどではないが、さらにバティキュレートが堆積すれば、機関出力の大幅な低下等の問題を発生す

る。排気ガス中に含まれるバティキュレート量がそれほど多くない時には、バティキュレートフィルタの排気上流側と排気下流側とが逆転される。それにより、隔壁54の一方の捕集面に残留するバティキュレート上には、さらにバティキュレートが堆積することはなく、一方の捕集面から放出される活性酸素によって残留バティキュレートは徐々に酸化除去される。また、残留バティキュレートは、逆方向の排気ガス流によって、図26(B)に示すように、容易に破壊されて細分化され、細孔内を主に下流側へ流動する。

【0082】それにより、細分化された多くのバティキュレートは、隔壁の細孔内に分散し、隔壁の細孔内表面に担持させた活性酸素放出剤と直接的に接触して酸化除去される機会が多くなる。こうして、隔壁の細孔内にも活性酸素放出剤を担持させることで、残留バティキュレートを格段に酸化除去させ易くなる。さらに、この酸化除去に加えて、排気ガスの逆流によって上流側となった隔壁54の他方の捕集面、すなわち、現在において排気ガスが主に衝突する隔壁54の排気上流側表面及び細孔内の排気ガス流対向面（一方の捕集面とは反対側の関係となる）では、排気ガス中の新たなバティキュレートが付着して活性酸素放出剤から放出された活性酸素やNO<sub>x</sub>及びSO<sub>x</sub>を吸収する際に活性酸素放出剤から放出された活性酸素によって酸化除去される。これらの酸化除去の際に活性酸素放出剤から放出された活性酸素の一部は、排気ガスと共に下流側へ移動し、排気ガスの逆流によっても依然として残留するバティキュレートを酸化除去する。

【0083】すなわち、隔壁における一方の捕集面の残留バティキュレートには、この捕集面から放出される活性酸素だけでなく、排気ガスの逆流によって隔壁の他方の捕集面でのバティキュレートの酸化除去に使用された残りの活性酸素が排気ガスと共に到来する。それにより、弁体の切り換え時点において、隔壁の一方の捕集面にある程度バティキュレートが積層状に堆積していたとしても、排気ガスを逆流させれば、残留バティキュレート上に堆積するバティキュレートへも活性酸素が到来することに加えて、さらにバティキュレートが堆積することはないために、堆積バティキュレートは徐々に酸化除去され、次の逆流までに、ある程度の時間があれば、この間で十分に酸化除去可能である。

【0084】また、バティキュレートフィルタにおいては、排気ガスの流入を容易にするために大きな開口面積が必要とされるが、本排気浄化装置では、図22及び23に示すように、車両搭載性を悪化させることなく、大きな開口面積を有するバティキュレートフィルタを使用可能である。

【0085】この一方で、本排気浄化装置は、バティキュレートフィルタの排気上流側と排気下流側とを逆転するために、弁体71aを第一遮断位置及び第二遮断位置

50

の一方から他方へ回転させる間において、図 25 に示すように、排気ガスがパティキュレートフィルタを通過せずに大気中へ放出されてしまう。

【0086】以上のように、機関運転時には、パティキュレートが堆積するのを防ぐように弁体 71a を定期的に又は不定期に切り換えて運転している。しかしながら、実際には、車両が所定時間又は所定走行距離を走行する間には、図 20 の領域 II での運転が実施されることもあり、パティキュレートが堆積してしまうことがある。

【0087】したがって、パティキュレートフィルタ 70 にパティキュレートが堆積してしまうのを防止するために、前述したように弁体 71a を作動制御することに加えて、パティキュレートの酸化除去能力を向上させることが必要である。そこで、以下に詳細に説明するように、本発明では、排気中でプラズマを発生させ、パティキュレートの酸化除去能力を向上させている。

【0088】次にプラズマ発生装置 80 の構成について説明する。プラズマ発生装置 80 は排気マニホールド 17 の下流かつパティキュレートフィルタ 70 の上流に配置されている。プラズマ発生装置 80 は、互いに離間した二つの棒状の電極を配置した構成となっている。プラズマ発生装置 80 は、電子制御ユニット 30 からの制御信号に基づいて作動し、作動時には両電極間に高周波の高電圧パルス印加することによってコロナ放電を発生させる。

【0089】次にプラズマ発生装置 80 の作動について説明する。プラズマ発生装置 80 を作動して両電極間にコロナ放電を発生させると、両電極間の酸素、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$  及び  $\text{HC}$  は電離してプラズマ化され、活性の高い活性酸素  $\text{O}^\bullet$ 、 $\text{NO}_x^\bullet$ 、 $\text{CO}^\bullet$  及び  $\text{HC}^\bullet$  にそれぞれ変換される。活性酸素  $\text{O}^\bullet$  はパティキュレートを直接的に酸化することができるため、パティキュレートの酸化除去能力が向上する。また、 $\text{NO}_x^\bullet$  は  $\text{NO}_x$  よりも活性酸素放出剤に吸蔵されやすくなり、 $\text{NO}_x$  を放出する際に放出する活性酸素の量を増加させることが可能となるため、パティキュレートの酸化除去能力が向上する。また、 $\text{CO}^\bullet$ 、 $\text{HC}^\bullet$  は高いエネルギーを持ち、パティキュレートフィルタ上で燃焼しやすくなり、その結果、パティキュレートフィルタが昇温してパティキュレートがフィルタ上で酸化除去能力が向上することとなる。以上のように、プラズマ発生装置 80 を排気中で作動することにより、パティキュレートの酸化除去能力を向上させる効果がある。

【0090】このようにプラズマ発生装置 80 を作動してパティキュレートの酸化除去能力を向上させる時期は、プラズマ発生装置 80 による消費電力を低減するために、パティキュレートの酸化除去能力が不十分となってパティキュレートフィルタにパティキュレートが堆積する可能性がある機関状態の時に限定することが望まし

い。本実施例では、パティキュレートの酸化除去能力が不十分である条件として以下の 6 つの条件が挙げられる。第一の条件は機関状態がリッチスバイクの時であり、第二の条件は排気中の酸素濃度が低い時であり、第三の条件は機関状態が低温燃焼の時であり、第四の条件はパティキュレートが連続酸化除去できない時であり、第五の条件は排気中の  $\text{NO}_x$  濃度が低い時であり、第六の条件はパティキュレートフィルタの温度が低い時である。これら 6 つの条件について以下に詳細に説明する。

10 【0091】最初に第一の条件、すなわち機関状態がリッチスバイクの時について説明する。リッチスバイクとは、例えば、高負荷運転のように燃焼ガスの空燃比を一時的にリッチにすることである。排気ガスの空燃比をリッチにすると、すなわち、排気ガス中の酸素濃度を低下させると、活性酸素放出剤 61 から外部に活性酸素  $\text{O}^\bullet$  が一気に放出される。この一気に放出された活性酸素  $\text{O}^\bullet$  によって、堆積パティキュレートは酸化され易いものとなって容易に酸化除去される。一方、空燃比がリーンに維持されていると白金 Pt の表面が酸素で覆われ、いわゆる白金 Pt の酸素被毒が生じる。このような酸素被毒が生じると  $\text{NO}_x$  に対する酸化作用が低下するために  $\text{NO}_x$  の吸収効率が低下し、斯くして活性酸素放出剤 61 からの活性酸素放出量が低下する。しかしながら空燃比がリッチにされると白金 Pt 表面上の酸素が消費されるために酸素被毒が解消され、従って空燃比が再びリッチからリーンに切り換えられると  $\text{NO}_x$  に対する酸化作用が強まるために  $\text{NO}_x$  の吸収効率が高くなり、斯くして活性酸素放出剤 61 からの活性酸素放出量が增大する。従って、空燃比がリーンに維持されている時に空燃比を時折

30 リーンからリッチに一時的に切り換えるとその都度白金 Pt の酸素被毒が解消されるために空燃比がリーンである時の活性酸素放出量が増大し、斯くしてパティキュレートフィルタ 70 上におけるパティキュレートの酸化作用を促進することができる。さらに、この酸素被毒の解消は、言わば、還元物質の燃焼であるために、発熱を伴ってパティキュレートフィルタを昇温させる。それにより、パティキュレートフィルタにおける酸化除去可能微粒子量が向上し、さらに、残留及び堆積パティキュレートの酸化除去が容易となるという効果がある。

40 【0092】好ましくは、弁体 71a によってパティキュレートフィルタの排気上流側と排気下流側とを切り換えた直後にリッチスバイクを実施すると、パティキュレートが残留していないパティキュレートフィルタ隔壁における他方の捕集面では、一方の捕集面に比較して活性酸素を放出し易いために、さらに多量に放出される活性酸素によって、一方の捕集面の残留パティキュレートをさらに確実に酸化除去することができる。当然、弁体 71a の切り換えとは無関係に時折排気ガスの空燃比をリッチにしても良く、それにより、パティキュレートフィルタへパティキュレートが残留及び堆積し難くなる。

【0093】前述したように、リッチスパイクには、バティキュレートの酸化除去作用と酸素被毒の解消効果が向上する。しかしながら、リッチスパイクをさらに持続すると、以下に説明するように活性酸素量が減少し、バティキュレートの酸化除去能力が不十分となるという問題がある。空燃比と活性酸素量を示す図27に示すように、空燃比AFがリーンの時には、バティキュレートフィルタの活性酸素放出剤61の周囲には酸素が過剰に存在するため、バティキュレートフィルタ中の活性酸素放出剤61は酸素を取り込んで酸素を保持しており、活性酸素量は必要活性酸素量を上回っている。時間T<sub>1</sub>においてリッチスパイクを開始する、すなわち排気中の空燃比AFがリーンからリッチとなると、バティキュレートフィルタの活性酸素放出剤の周囲には酸素が不足するため、活性酸素放出剤61からリーン時に保持した酸素を活性酸素の形で放出し、活性酸素量は増加する。さらにリッチスパイクを継続すると、一定時間後T<sub>2</sub>では活性酸素量が最大となり、リーン時に活性酸素放出剤61で保持していた酸素を放出し尽くして減少し続ける。さらにリッチスパイクを継続すると、時間T<sub>3</sub>には活性酸素量が必要活性酸素量を下回ってバティキュレートの酸化除去能力が不十分となってしまう。したがって、活性酸素が不足してバティキュレートの酸化除去能力が不十分となるのを防ぐため、リッチスパイク時にはプラズマ発生装置を作動してバティキュレートの酸化除去能力を向上させることが必要である。

【0094】次にリッチスパイク時のプラズマ発生装置の作動について説明する。空燃比センサ21によって検出した空燃比AFが設定した空燃比AF<sub>0</sub>よりも大きい場合にはリッチスパイクであると判断して所定時間後にプラズマ発生装置を作動すると、酸素が活性酸素Oに変換されてバティキュレートの酸化除去能力が向上する。また、高いエネルギーを有するHC<sup>\*</sup>やCO<sup>\*</sup>はバティキュレートフィルタ上で燃焼しやすくなり、バティキュレートフィルタが昇温してバティキュレートの酸化除去能力を向上させる効果を奏する。

【0095】次に、第二の条件、すなわち排気中の酸素濃度が低い時について説明する。低酸素濃度は、例えば、大量EGR運転や、空燃比が15~20の低空燃比運転時に実現される。図28は酸素濃度とバティキュレートの酸化除去可能微粒子量の関係を示している。図28の実線に示すように、排気中の酸素濃度が低い時には、バティキュレートの酸化に寄与する活性酸素Oが不足するため、バティキュレートの酸化除去能力が低い。したがって、活性酸素が不足してバティキュレートの酸化除去能力が不十分となるのを防ぐため、低酸素濃度時にはプラズマ発生装置を作動してバティキュレートの酸化除去能力を向上させることが必要である。

【0096】排気ガス中の酸素濃度[O<sub>2</sub>]は、本発明による実施例では、排気ガス中の酸素濃度[O<sub>2</sub>]が要

求トルクTQ及び機関回転数Nの関数として図31

(A)に示すようなマップの形で予めROM内に記憶されており、このマップから排気ガス中の酸素濃度

[O<sub>2</sub>]が算出される。算出した酸素濃度[O<sub>2</sub>]が設定した酸素濃度[O<sub>2</sub>]<sub>0</sub>未満である場合には排気ガス中の酸素濃度が低いと判断して低酸素濃度時にプラズマ発生装置を作動すると、酸素が活性酸素Oに変換されてバティキュレートの酸化除去能力が向上する。また、高いエネルギーを有するHC<sup>\*</sup>やCO<sup>\*</sup>はバティキュレートフィルタ上で燃焼しやすくなり、バティキュレートフィルタが昇温してバティキュレートの酸化除去能力を向上させる効果を奏する。このように、プラズマ発生装置を作動することにより、図28の破線に示すように酸化除去能力を向上させることができる。

【0097】次に、第三の条件、すなわち機関状態が低温燃焼の時について説明する。低温燃焼とは、前述したように、煤の発生量が最大となる最悪不活性ガス量よりも燃焼室内の不活性ガス量を多くした燃焼方式であり、煤がほとんど発生しない燃焼のことである。低温燃焼時には、酸素量が少ないため、活性酸素を一時的に放出するが、このような状態が長く続くと、バティキュレートの酸化に寄与する活性酸素Oが不足するため、バティキュレートの酸化除去能力が低下する。したがって、活性酸素が不足してバティキュレートの酸化除去能力が不十分となるのを防ぐため、プラズマ発生装置を作動してバティキュレートの酸化除去能力を向上させることが必要である。

【0098】低温燃焼時にプラズマ発生装置を作動すると、酸素が活性酸素Oに変換されてバティキュレートの酸化除去能力が向上する。また、高いエネルギーを有するHC<sup>\*</sup>やCO<sup>\*</sup>はバティキュレートフィルタ上で燃焼しやすくなり、バティキュレートフィルタが昇温してバティキュレートの酸化除去能力を向上させる効果を奏する。

【0099】次に、第四の条件、すなわちバティキュレートが連続酸化除去できない時について説明する。バティキュレートが連続酸化除去できない時とは、単位時間当たり燃焼室から排出される微粒子量が、単位時間当たりバティキュレートフィルタで酸化除去される量よりも多くなった時のことをいう。前述したようにバティキュレートがバティキュレートフィルタ70上に付着するとこのバティキュレートは短時間のうちに酸化させられる。ところが、このバティキュレートが完全に酸化除去させられる前に他のバティキュレートが次から次へとバティキュレートフィルタ70に付着する。したがって、実際にはバティキュレート上にはある程度の量のバティキュレートが常に堆積しており、この堆積しているバティキュレートのうちの一部のバティキュレートが酸化除去させられる。この場合、単位時間当たり酸化除去させられるバティキュレートGが排出微粒子量Mと同じであれば排気ガス中の全バティキュレートはバティキュレー

トフィルタ70上において酸化除去させられる。しかしながら、排出微粒子量Gが単位時間当りに酸化除去させられる微粒子量Gよりも多くなるとパティキュレートフィルタ70上の堆積微粒子量は次第に増大し、ついにはパティキュレートが積層状に堆積して低い温度では着火しえなくなる。したがって、プラズマ発生装置を作動してパティキュレートの酸化除去能力を向上させることが必要である。

【0100】後述する方法で算出した排出微粒子量Mが酸化除去可能微粒子量Gよりも大きい場合においてパティキュレートが連続酸化除去できないと判断してプラズマ発生装置を作動すると、排気中の酸素、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$ を活性酸素 $\text{O}^\bullet$ 、 $\text{NO}_x^\bullet$ 、 $\text{H}^\bullet$ 、 $\text{CO}^\bullet$ にそれぞれ変換する。こうして、活性酸素 $\text{O}^\bullet$ の増加により、パティキュレートを直接的に酸化除去する能力が向上する。また、活性の高い $\text{NO}_x^\bullet$ がパティキュレートフィルタに吸蔵されやすくなるため、活性酸素が増加することとなる。さらに、高いエネルギーを有する $\text{H}^\bullet$ 、 $\text{CO}^\bullet$ はパティキュレートフィルタ上で燃焼しやすくなり、パティキュレートフィルタが昇温してパティキュレートの酸化除去能力を向上させる効果を奏する。

【0101】以下に、酸化除去可能微粒子量Gと排出微粒子量Mの算出方法について説明する。図20において、酸化除去可能微粒子量Gは、パティキュレートフィルタ70の温度TFのみの関数として示されているが、実際には、この酸化除去可能微粒子量Gは、排気ガス中の酸素濃度、排気ガス中の $\text{NO}_x$ 濃度、排気ガス中の未燃 $\text{HC}$ 濃度、パティキュレートの酸化のしやすさの程度、パティキュレートフィルタ70内における排気ガス流の空間速度、排気ガス圧等の関数でもある。したがって、酸化除去可能微粒子量Gは、パティキュレートフィルタ70の温度TFを含む上述の全ての因子の影響を考慮に入れて算出することが好ましい。

【0102】しかしながら、これらの因子のうち酸化除去可能微粒子量Gに最も大きな影響を与えるのはパティキュレートフィルタ70の温度TFであり、比較的大きな影響を与えるのは排気ガス中の酸素濃度と $\text{NO}_x$ 濃度である。図29(A)はパティキュレートフィルタ70の温度TF及び排気ガス中の酸素が変化したときの酸化除去可能微粒子量Gの変化を示しており、図29

(B)はパティキュレートフィルタ70の温度TF及び排気ガス中の $\text{NO}_x$ 濃度が変化したときの酸化除去可能微粒子量Gの変化を示している。なお、図29(A)及び(B)において破線は排気ガス中の酸素濃度及び $\text{NO}_x$ 濃度が基準値であるときを示しており、図29(A)において、 $[\text{O}_2]$ は基準値よりも排気ガス中の酸素濃度が高いとき、 $[\text{O}_2]$ は $[\text{O}_2]$ よりもさらに酸化濃度が高いときをそれぞれ示しており、図29(B)において、 $[\text{NO}_x]$ は基準値よりも排気ガス中の $\text{NO}_x$ 濃度が高いとき、 $[\text{NO}_x]$ は $[\text{NO}_x]$ よりもさらにN

$\text{O}_x$ 濃度が高いときをそれぞれ示している。

【0103】排気ガス中の酸素濃度が高くなるとそれだけでも酸化除去可能微粒子量Gが増大するが活性酸素放出剤61内に取り込まれる酸素量が増大するので活性酸素放出剤61から放出される活性酸素も増大する。したがって、図29(A)に示されるように排気ガス中の酸素濃度が高くなるほど酸化除去可能微粒子量Gは増大する。一方、排気ガス中の $\text{NO}$ は前述したように白金Ptの表面上において酸化されて $\text{NO}_2$ となる。このようにして生成された $\text{NO}_2$ の一部は活性酸素放出剤61内に吸収され、残りの $\text{NO}_2$ は白金Ptの表面から外部に離脱する。このとき、パティキュレートは $\text{NO}_2$ と接触すると酸化反応が促進され、したがって、図29(B)に示されるように、排気ガス中の $\text{NO}_x$ 濃度が高くなるほど酸化除去微粒子量Gは増大する。ただし、この $\text{NO}_2$ によるパティキュレートの酸化促進作用は排気ガス温がほぼ250℃から450℃の間でしか生じないので、図29(B)に示されるように排気ガス中の $\text{NO}_x$ 濃度が高くなるとパティキュレートフィルタ70の温度TFがほぼ250℃から450℃の間のときに酸化除去可能微粒子量Gが増大する。

【0104】前述したように、酸化除去可能微粒子量Gは、酸化除去可能微粒子量Gに影響を与える全ての因子を考慮に入れて算出することが好ましい。しかしながら、本発明による実施例ではこれらの因子のうち酸化除去可能微粒子量Gに最も大きな影響を与えるパティキュレートフィルタ70の温度TFと、比較的大きな影響を与える排気ガス中の酸素濃度及び $\text{NO}_x$ 濃度のみに基づいて酸化除去可能微粒子量Gを算出するようにしている。

【0105】すなわち、本発明による実施例では、図30の(A)から(F)に示されるようにパティキュレートフィルタ70の各温度TF(200℃、250℃、300℃、350℃、400℃、450℃)における酸化除去可能微粒子量Gがそれぞれ排気ガス中の酸素濃度

$[\text{O}_2]$ と排気ガス中の $\text{NO}_x$ 濃度 $[\text{NO}_x]$ の関数としてマップの形で予めROM内に記憶されており、各パティキュレートフィルタ70の温度TF、酸素濃度 $[\text{O}_2]$ 及び $\text{NO}_x$ 濃度 $[\text{NO}_x]$ に応じた酸化除去可能微粒子量Gが図30の(A)から(F)に示されるマップから比例配分により算出される。

【0106】なお、排気ガス中の酸素濃度 $[\text{O}_2]$ 及び $\text{NO}_x$ 濃度 $[\text{NO}_x]$ は、酸素濃度センサ及び $\text{NO}_x$ 濃度センサを用いて検出することができる。しかしながら本発明による実施例では、排気ガス中の酸素濃度 $[\text{O}_2]$ 及び $\text{NO}_x$ 濃度 $[\text{NO}_x]$ が要求トルクTQ及び機関回転数Nの関数として図31(A)及び(B)に示すようなマップの形で予めROM内に記憶されており、これらのマップから排気ガス中の酸素濃度 $[\text{O}_2]$ 及び $\text{NO}_x$ 濃度 $[\text{NO}_x]$ が算出される。

【0107】一方、排出微粒子量Mは機関の型式によって変化するが機関の型式が定まると要求トルクTQ及び機関回転数Nの関数となる。図32(A)は図1に示される内燃機関の排出微粒子量Mを示しており、各曲線M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>、M<sub>4</sub>、M<sub>5</sub>は等排出微粒子量(M<sub>1</sub><M<sub>2</sub><M<sub>3</sub><M<sub>4</sub><M<sub>5</sub>)を示している。図32(A)に示される例では要求トルクTQが高くなるほど排出微粒子量Mが増大する。なお、図32(A)に示される排出微粒子量Mは要求トルクTQ及び機関回転数Nの関数として図32(B)に示すマップの形で予めROM内に記憶されて

いる。  
【0108】なお、排出微粒子量Mが酸化除去可能微粒子量Gより多少多くてもパティキュレートフィルタ70上に堆積する微粒子量はさほど多くない。したがって、排出微粒子量Mが酸化除去可能微粒子量Gに小さな一定値 $\alpha$ を加算した許容量(G+ $\alpha$ )よりも大きくなった場合に、プラズマ発生装置を作動するように設定してもよい。

【0109】次に、第五の条件、すなわち排気中のNO<sub>x</sub>濃度が低い時について説明する。前述したように、パティキュレートフィルタで活性酸素Oを保持するためには排気ガス中のNO<sub>x</sub>を吸蔵することが必要であるが、排気中のNO<sub>x</sub>濃度が低い時には、NO<sub>x</sub>を吸蔵する量が少なく、その結果、パティキュレートの酸化に寄与する活性酸素Oを吸蔵する量が少なくなり、パティキュレートの酸化除去能力が不十分となってしまう。したがって、活性酸素が不足してパティキュレートの酸化除去能力が不十分となるのを防ぐため、低NO<sub>x</sub>濃度時にはプラズマ発生装置を作動してパティキュレートの酸化除去能力を向上させることが必要である。

【0110】なお、排気ガス中のNO<sub>x</sub>濃度[NO]は、NO<sub>x</sub>濃度センサを用いて検出することができる。排気ガス中のNO<sub>x</sub>濃度[NO]が要求トルクTQ及び機関回転数Nの関数として図31(B)に示すようなマップの形で予めROM内に記憶されており、このマップから排気ガス中のNO<sub>x</sub>濃度[NO]が算出される。

【0111】算出したNO<sub>x</sub>濃度[NO]が設定したNO<sub>x</sub>濃度[NO]。未満である場合に排気中のNO<sub>x</sub>濃度が低いと判断してプラズマ発生装置を作動すると、排気中の酸素、NO<sub>x</sub>、HC、COを活性酸素O、NO<sub>x</sub><sup>\*</sup>、HC<sup>\*</sup>、CO<sup>\*</sup>にそれぞれ変換する。こうして、活性酸素Oが増加し、パティキュレートを直接的に酸化除去する能力が向上する。また、活性の高いNO<sub>x</sub><sup>\*</sup>がパティキュレートフィルタに吸蔵されやすくなるため、活性酸素量が増加することとなる。さらに、高いエネルギーを有するHC<sup>\*</sup>、CO<sup>\*</sup>はパティキュレートフィルタ上で燃焼しやすくなり、パティキュレートフィルタが昇温してパティキュレートの酸化除去能力を向上させる効果を奏する。

【0112】最後に、第六の条件、すなわちパティキュレートフィルタ温度が低い時について説明する。図24

は単位時間当りに輝炎を発することなく酸化除去可能な酸化除去可能微粒子量Gとパティキュレートフィルタ70の温度との関係を示す図である。図24に示すように、フィルタ温TFが低い時には触媒が十分に活性化されていないため、酸化除去可能微粒子量、すなわち酸化除去能力が低い。したがって、パティキュレートの酸化除去能力が不十分となるのを防ぐため、フィルタ温度TFが低い時にはプラズマ発生装置を作動してパティキュレートの酸化除去能力を向上させることが必要である。

【0113】温度センサで検出したパティキュレートフィルタの温度TFが設定した温度TF。よりも小さい場合には、パティキュレートフィルタの温度が低いと判断し、プラズマ発生装置を作動すると、排気中の酸素、NO<sub>x</sub>、HC、COを活性酸素O、NO<sub>x</sub><sup>\*</sup>、HC<sup>\*</sup>、CO<sup>\*</sup>にそれぞれ変換する。こうして、活性酸素Oが増加し、パティキュレートを直接的に酸化除去する能力が向上する。また、NO<sub>x</sub><sup>\*</sup>の増加によりNO<sub>x</sub>がパティキュレートフィルタに吸蔵されやすくなるため、活性酸素量が増加することとなる。さらに、高いエネルギーを有するHC<sup>\*</sup>、CO<sup>\*</sup>はパティキュレートフィルタ上で燃焼しやすくなり、パティキュレートフィルタが昇温してパティキュレートの酸化除去能力を向上させる効果を奏する。このように、図33中の破線に示すように、パティキュレートフィルタの温度が低い場合でも、パティキュレートの酸化除去能力を向上させることができる。

【0114】次に、図34を参照しつつ運転制御方法について説明する。図34は機関の運転を制御するためのフローチャートである。まず初めにステップ100では、アクセルペダル40の踏み量Lと機関回転数Nとに基づいて低温燃焼と通常燃焼のいずれかを選択し、選択した燃焼において、アクセルペダル40の踏み量L及び機関回転数Nに基づいて図15(A)又は図17(A)に示すマップによってスロットル弁16の開度が制御される。

【0115】次に、ステップ101では、選択した燃焼において、アクセルペダル40の踏み量Lと機関回転数Nとに基づいて図15(B)又は図17(B)に示すマップによってEGR制御弁23の開度が制御される。次に、ステップ102では燃料噴射弁6からの噴射制御が行われる。

【0116】ステップ103では、現在の機関運転状態がリッチスパイク中であるか否かを判別する。すなわち、検出した空燃比AFが設定した空燃比值AF。未満である場合には、現在の機関運転状態がリッチスパイク中であり、パティキュレートの酸化除去能力が不十分であると判断してステップ110に進む。一方、空燃比AFがAF。以上である場合には、現在の機関運転状態がリッチスパイク中でないと判断してステップ104に進む。

【0117】次に、ステップ104では、排気中の酸素

濃度が低いかな否かを判別する。すなわち、排気中の酸素濃度 $[O_2]$ が設定した値 $[O_2]$ 。未満である時には酸素濃度が低く、バティキュレート酸化除去能力が不十分であると判断してステップ110に進む。一方、酸素濃度 $[O_2]$ が $[O_2]$ 。以上の時には酸素濃度が低いと判断してステップ105に進む。

【0118】次に、ステップ105では、現在の機関運転状態が低温燃焼であるかな否かを判別する。すなわち、ステップ100で選択した燃焼が第一燃焼、即ち低温燃焼である時には、バティキュレート酸化除去能力が不十分であると判断してステップ110に進む。一方、ステップ100で選択した燃焼が第二燃焼、即ち通常燃焼である場合にはステップ106に進む。

【0119】次に、ステップ106では、現在の機関運転状態がバティキュレートフィルタ上のバティキュレートの連続酸化除去が不可能である機関状態であるかな否かについて判別する。すなわち、算出した排出微粒子量Mが算出した酸化除去可能微粒子量Gよりも大きいかな否かについて判別する。排出微粒子量Mは、図32(B)に示されるマップから算出し、酸化除去可能微粒子量Gは、図30の(A)から(F)に示されるマップからバティキュレートフィルタの温度TF、排気ガス中の酸素濃度 $[O_2]$ 及び排気ガス中の $NO_x$ 濃度 $[NO]$ に応じて算出する。算出した排出微粒子量Mが酸化除去可能微粒子量Gよりも大きいと判別されたときには、バティキュレートの連続酸化除去が不可能であると判断してステップ110に進む。一方、排出微粒子量Mが酸化除去可能微粒子量G以下であると判別されたときには、バティキュレートの連続酸化除去が不可能でないと判断してステップ107に進む。

【0120】次に、ステップ107では、排気中の $NO_x$ 濃度が低いかな否かについて判別する。すなわち、算出した $NO_x$ 濃度 $[NO]$ が設定した $[NO]$ 。未満である場合には、機関運転状態が低 $NO_x$ 濃度であり、バティキュレートの酸化除去能力が不十分であると判断してステップ110に進む。一方、 $NO_x$ 濃度 $[NO]$ が設定した $[NO]$ 。以上である場合には、低 $NO_x$ 濃度でないと判断してステップ108に進む。

【0121】次に、ステップ108において、バティキュレートフィルタの温度が低いかな否かについて判別する。すなわち、バティキュレートフィルタの温度TFが設定した値TF。未満であるかな否かを判別する。バティキュレートフィルタの温度TFが設定した値TF。未満であり、バティキュレートの酸化除去能力が不十分である場合には、バティキュレートフィルタ温度が低いと判断してステップ110に進む。一方、バティキュレートフィルタの温度TFが設定した値TF。以上である場合には、バティキュレートフィルタ温度が低くない、すなわち現在の機関運転状態はバティキュレートの酸化除去能力が十分であると判断してステップ109に進む。

【0122】ステップ110では、プラズマ発生装置を作動し、ステップ103に戻る。プラズマ発生装置を作動することにより、排気中の酸素、 $NO_x$ 、HC、COを活性酸素O、 $NO_x^*$ 、 $HC^*$ 、 $CO^*$ にそれぞれ変換する。こうして、活性酸素Oの増加により、バティキュレートを直接的に酸化除去する能力が向上する。また、 $NO_x^*$ はバティキュレートフィルタに吸蔵されやすくなるため、活性酸素を増加することとなる。さらに、高いエネルギーを有する $HC^*$ 、 $CO^*$ はバティキュレートフィルタ上で燃焼しやすくなり、バティキュレートフィルタが昇温してバティキュレートの酸化除去能力を向上させる効果を奏する。こうして、バティキュレートフィルタが早期に目詰まりすることを防止すると共に、バティキュレート以外の排気ガスに含まれる有害物質の大気放出量を良好に低減する。

【0123】一方、ステップ109では、バティキュレートの酸化除去能力が十分であるので消費電力を節約するためにプラズマ発生装置の作動を停止させる。次に、一定時間後にステップ103に戻って以上の制御を繰り返す。このように、プラズマ発生装置80を作動する時期をバティキュレートの酸化除去能力が不十分となつてバティキュレートフィルタにバティキュレートが堆積する可能性がある機関状態の時に限定することにより、プラズマ発生装置80による消費電力を低減することができ。

【0124】本実施例において、バティキュレートの酸化除去能力、すなわち機関状態に関わらずプラズマ発生装置で印加する電圧を一定としているが、これは本発明を限定するものではなく、機関状態と印加電圧の大きさの関係マップ化してバティキュレートの酸化除去能力、すなわち機関状態に応じてプラズマ発生装置の印加電圧量を決定してもよい。

【0125】ところで、排気ガス中のカルシウムCaは $SO_3$ が存在すると、硫酸カルシウム $CaSO_4$ を生成する。この硫酸カルシウム $CaSO_4$ は、酸化除去され難く、バティキュレートフィルタ上にアッシュとして残留することとなる。従って、硫酸カルシウムの残留によるバティキュレートフィルタの目詰まりを防止するためには、活性酸素放出剤61としてカルシウムCaよりもイオン化傾向の高いアルカリ金属又はアルカリ土類金属、例えばカリウムKを用いることが好ましく、それにより、活性酸素放出剤61内に拡散する $SO_3$ はカリウムKと結合して硫酸カリウム $K_2SO_4$ を形成し、カルシウムCaは $SO_3$ と結合することなくバティキュレートフィルタの隔壁を通過する。従ってバティキュレートフィルタがアッシュによって目詰まりすることがなくなる。こうして、前述したように活性酸素放出剤61としてはカルシウムCaよりもイオン化傾向の高いアルカリ金属又はアルカリ土類金属、即ちカリウムK、リチウムLi、セシウムCs、ルビジウムRb、バリウムBa、ス

トロンチウム Sr を用いることが好ましいことになる。

【0126】また、活性酸素放出剤としてパティキュレートフィルタに白金 Pt のような貴金属のみを担持させても、白金 Pt の表面上に保持される  $\text{NO}_x$  又は  $\text{SO}_x$  から活性酸素を放出させることができる。ただし、この場合には酸化除去可能微粒子量 G を示す実線は図 20 に示す実線に比べて若干右側に移動する。また、活性酸素放出剤としてセリアを用いることも可能である。セリアは、排気ガス中の酸素濃度が高いと酸素を吸収し ( $\text{Ce}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{CeO}_2$ )、排気ガス中の酸素濃度が低下する

と活性酸素を放出する ( $2\text{CeO}_2 \rightarrow \text{Ce}_2\text{O}_3$ ) のものであるために、パティキュレートの酸化除去のために、排気ガス中の空燃比を定期的又は不定期にリッチにする必要がある。セリアに代えて、鉄又は錫を使用しても良い。

【0127】また、活性酸素放出剤として排気ガス中の  $\text{NO}_x$  浄化に使用される  $\text{NO}_x$  吸蔵還元触媒を用いることも可能である。この場合においては、 $\text{NO}_x$  又は  $\text{SO}_x$  を放出させるために排気ガスの空燃比を少なくとも一時的にリッチにする必要がある。

【0128】本実施例において、パティキュレートフィルタ自身が活性酸素放出剤を担持して、この活性酸素放出剤が放出する活性酸素によりパティキュレートが酸化除去されるものとしたが、これは、本発明を限定するものではない。例えば、活性酸素及び活性酸素と同等に機能する二酸化窒素等のパティキュレート酸化成分は、パティキュレートフィルタ又はそれに担持させた物質から放出されても、外部からパティキュレートフィルタへ流入するようにしても良い。パティキュレート酸化成分が外部から流入する場合においても、パティキュレートを捕集するために、捕集壁の第一捕集面と第二捕集面とを交互に使用することで、排気下流側となった一方の捕集面では、新たにパティキュレートが堆積することはなく、この堆積パティキュレートを、他方の捕集面から流入するパティキュレート酸化成分によって徐々にでも酸化除去して、堆積パティキュレートをある程度の時間で十分に酸化除去することが可能である。この間において、他方の捕集面では、パティキュレートの捕集と共にパティキュレート酸化成分による酸化が行われるために、前述同様な効果もたらされる。

【0129】また、本実施例のディーゼルエンジンは、低温燃焼と通常燃焼とを切り換えて実施するものとしたが、これは本発明を限定するものではなく、もちろん、通常燃焼のみを実施するディーゼルエンジン、又はパティキュレートを排出するガソリンエンジンにも本発明は適用可能である。

【0130】また、本実施例では、排気流が逆転する構成のパティキュレートフィルタを例にとり説明したが、単に排気通路に配置した排気流の逆転しない構成のパティキュレートフィルタにも本発明は適用可能である。

【0131】

【発明の効果】このように、本発明による排気浄化装置によれば、機関排気系に配置されてパティキュレートを捕集するパティキュレートフィルタと、機関排気系のパティキュレートフィルタの上流側に配置されたプラズマ発生装置とを具備し、パティキュレートフィルタは、捕集したパティキュレートを酸化除去する酸化除去機能を有し、酸化除去機能によるパティキュレートの酸化除去能力が不十分となってパティキュレートフィルタにパティキュレートが堆積すると判断される機関状態の時には、プラズマ発生装置を作動することとを特徴とする。それにより、パティキュレートの酸化除去能力が不十分となった時に排気中の酸素を酸化能力の高い活性酸素に変換し、パティキュレートの酸化除去能力を向上させることができ、多量のパティキュレートが大気中へ放出されないようにすると共に、パティキュレートフィルタが少なくとも早期に目詰まりすることを防止することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による排気浄化装置を備えるディーゼルエンジンの概略縦断面図である。

【図 2】図 1 の燃焼室の拡大縦断面図である。

【図 3】図 1 のシリンダヘッドの底面図である。

【図 4】燃焼室の側面断面図である。

【図 5】吸排気弁のリフトと燃料噴射を示す図である。

【図 6】スモークおよび  $\text{NO}_x$  の発生量等を示す図である。

【図 7】燃焼圧を示す図である。

【図 8】燃料分子を示す図である。

【図 9】スモークの発生量と EGR 率との関係を示す図である。

【図 10】噴射燃料量と混合ガス量との関係を示す図である。

【図 11】第一の運転領域 I および第二の運転領域 II を示す図である。

【図 12】空燃比センサの出力を示す図である。

【図 13】スロットル弁の開度等を示す図である。

【図 14】第一の運転領域 I における空燃比を示す図である。

【図 15】第一の燃焼におけるスロットル弁等の目標開度のマップを示す図である。

【図 16】第二の燃焼における空燃比を示す図である。

【図 17】第二の燃焼におけるスロットル弁等の目標開度を示す図である。

【図 18】パティキュレートフィルタの構造を示す図である。

【図 19】パティキュレートの酸化作用を説明するための図である。

【図 20】酸化除去可能微粒子量とパティキュレートフィルタの温度との関係を示す図である。



【図21】バティキュレートの堆積作用を説明するための図である。

【図22】機関排気系における切換部及びバティキュレートフィルタ近傍の平面図である。

【図23】図22の側面図である。

【図24】切換部内の図22とは異なる弁体のもう一つの遮断位置を示す図である。

【図25】切換部内の弁体の中間位置を示す図である。

【図26】バティキュレートフィルタの隔壁の拡大断面図である。

【図27】リッチスパイク時の空燃比及び活性酸素の量を示す図である。

【図28】酸素濃度とバティキュレートの酸化速度の関係を示す図である。

【図29】酸化除去可能微粒子量を示す図である。

10 【符号の説明】

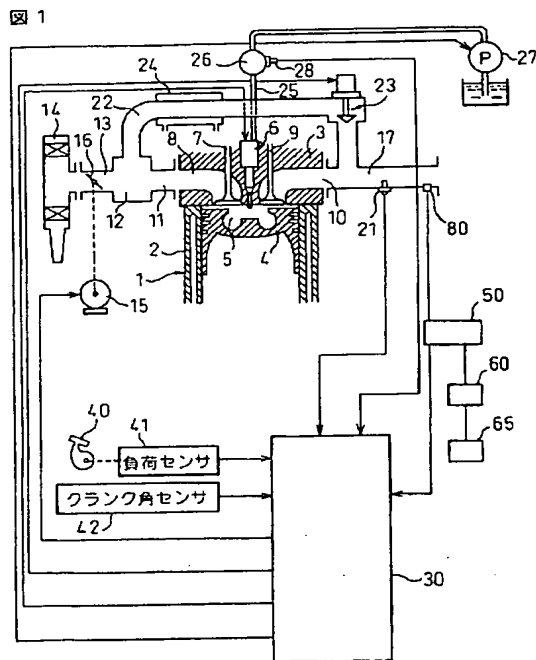
1…機関

17…排気通路

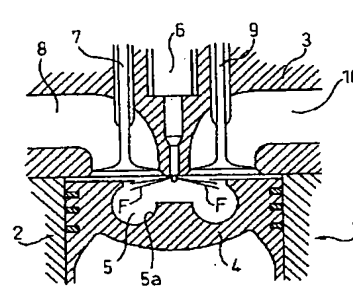
70…バティキュレートフィルタ

80…プラズマ発生装置

【図1】

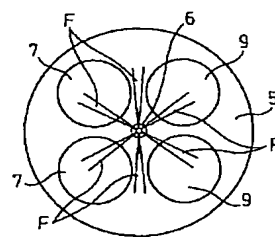


【図2】



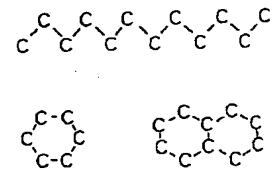
【図3】

図3



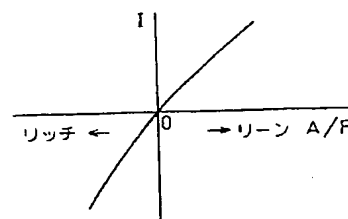
【図8】

図8



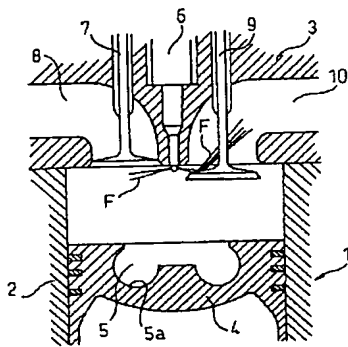
【図12】

図12



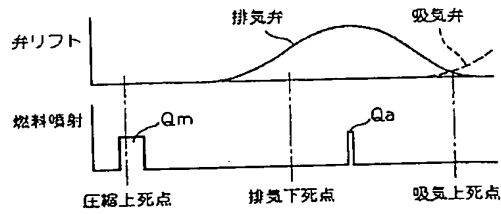
【図4】

図4



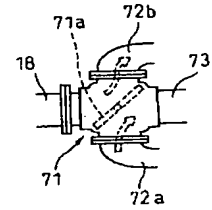
【図5】

図5



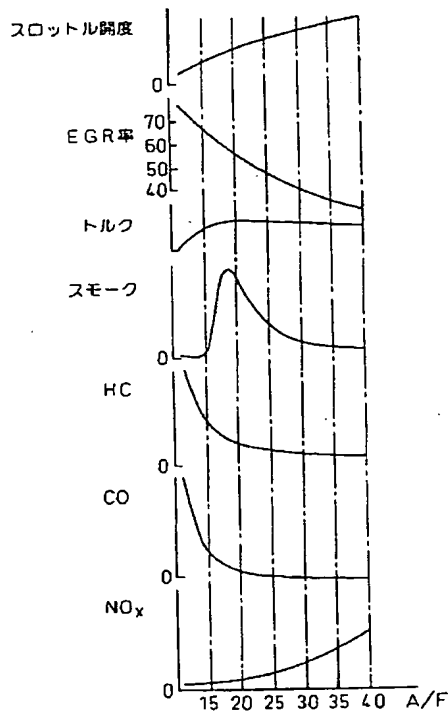
【図24】

図24



【図6】

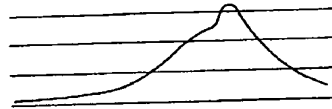
図6



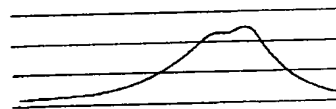
【図7】

図7

(A)

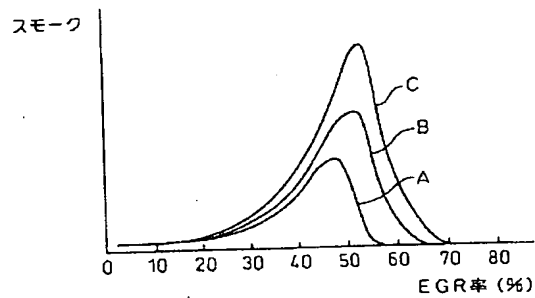


(B)



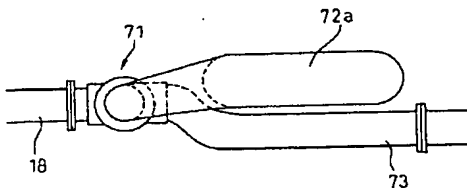
【図9】

図9

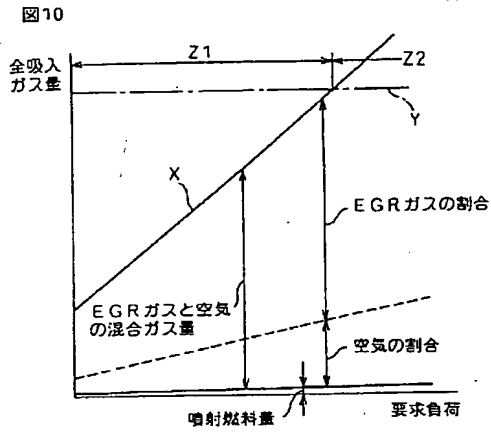


【図23】

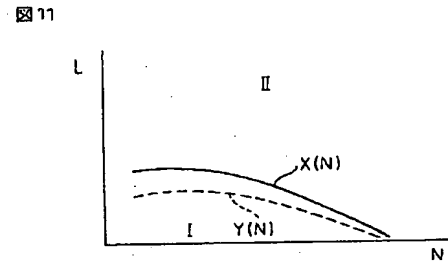
図23



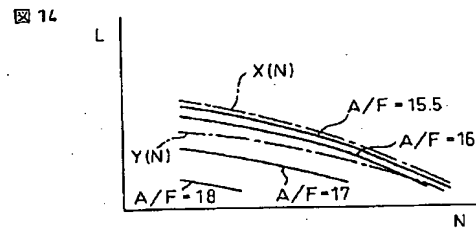
【図10】



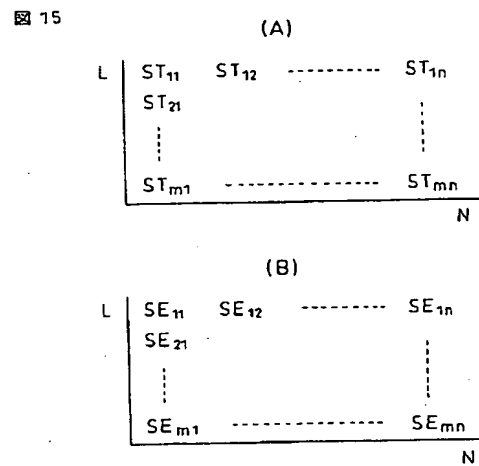
【図11】



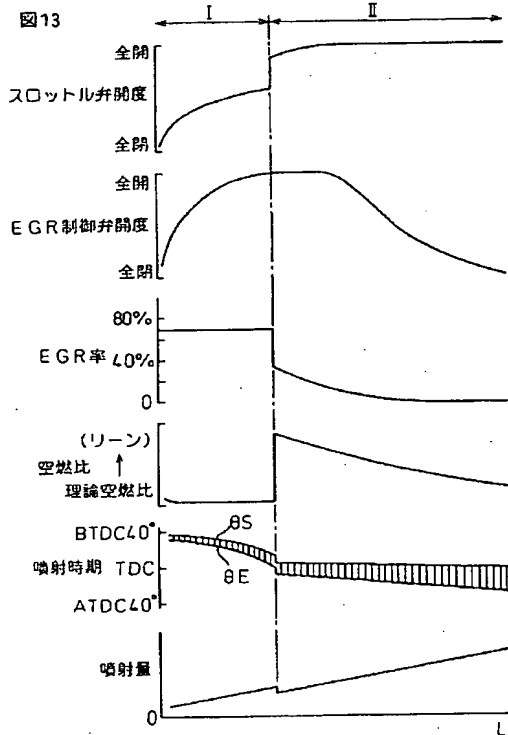
【図14】



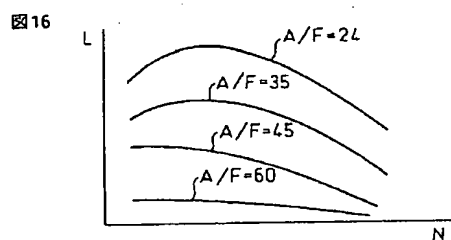
【図15】



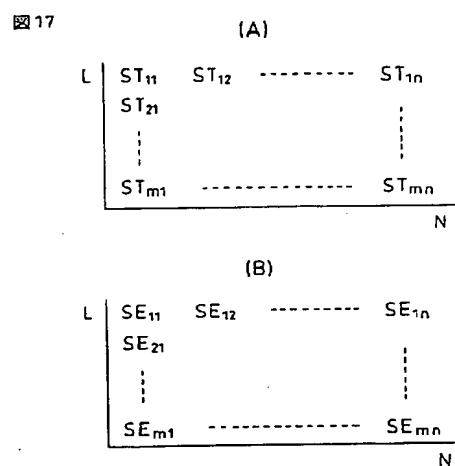
【図13】



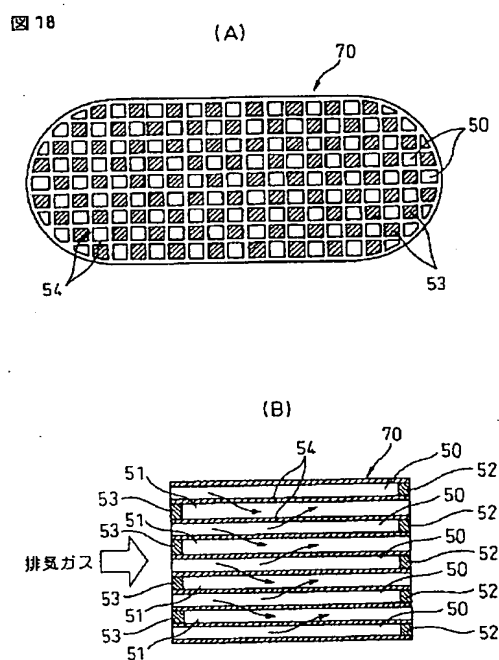
【図16】



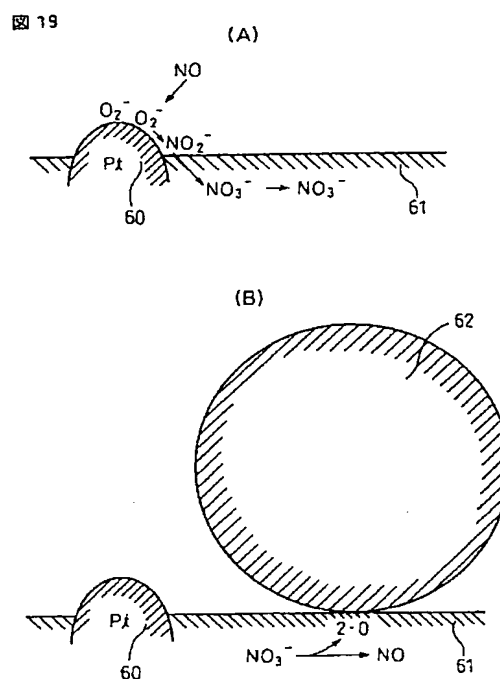
【図17】



【図18】

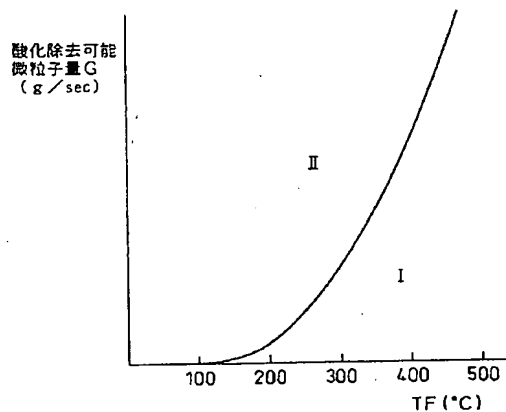


【図19】



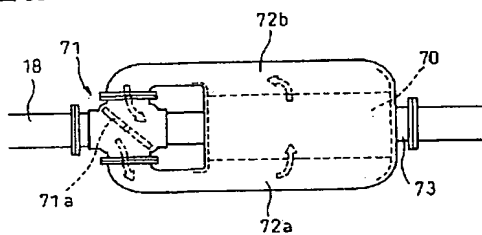
【図20】

図 20



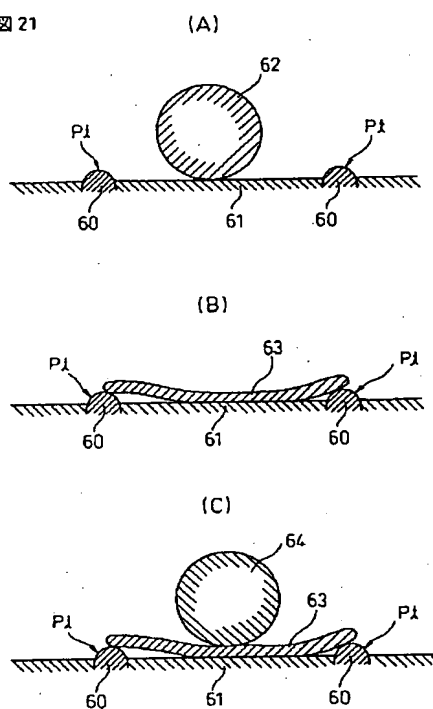
【図22】

図 22



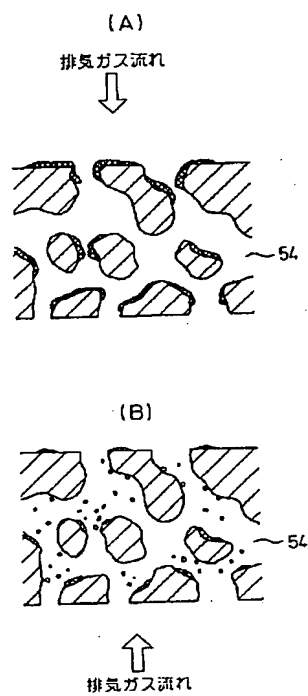
【図21】

図 21



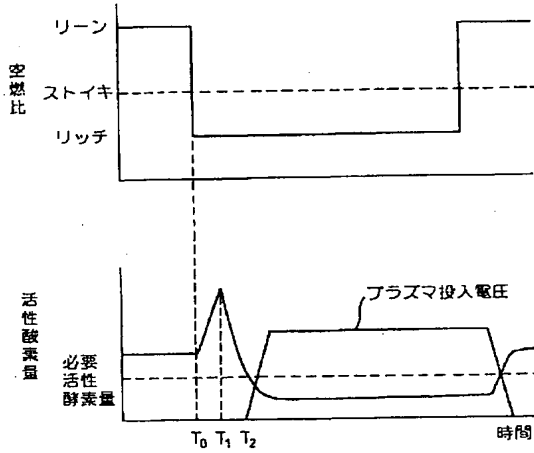
【図26】

図 26



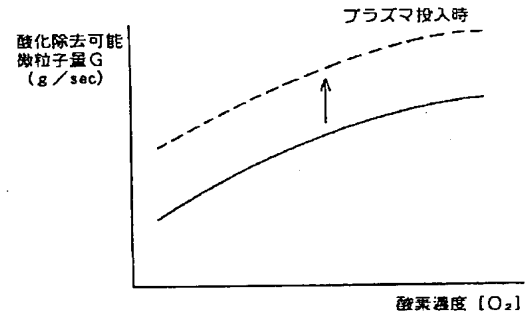
【図 27】

図 27



【図 28】

図 28

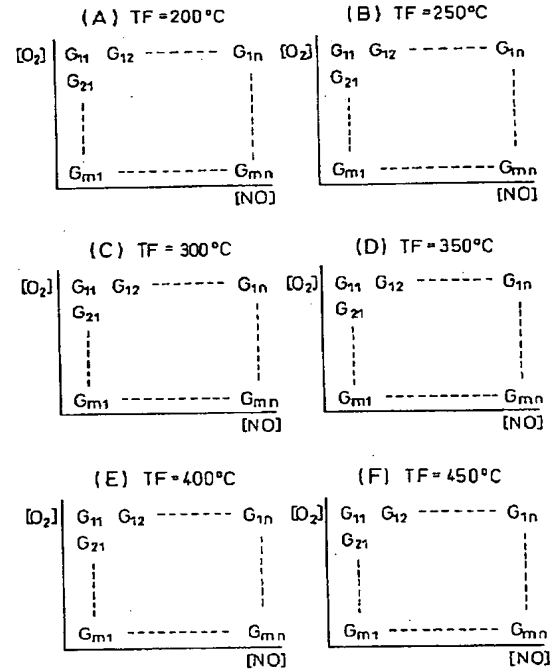
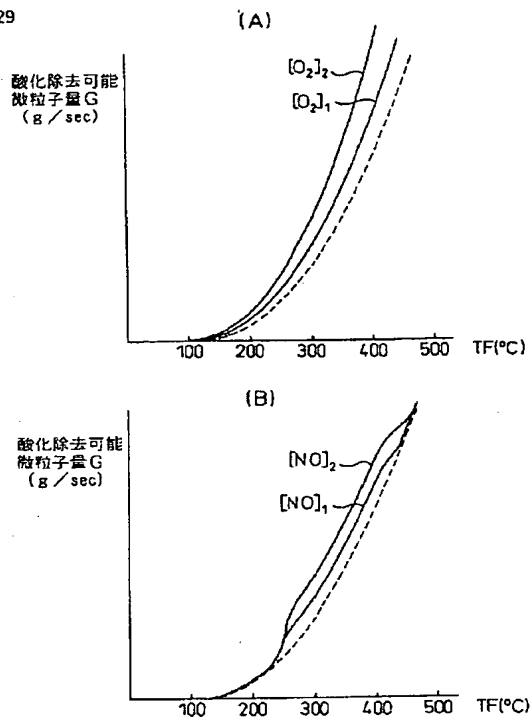


【図 30】

図 30

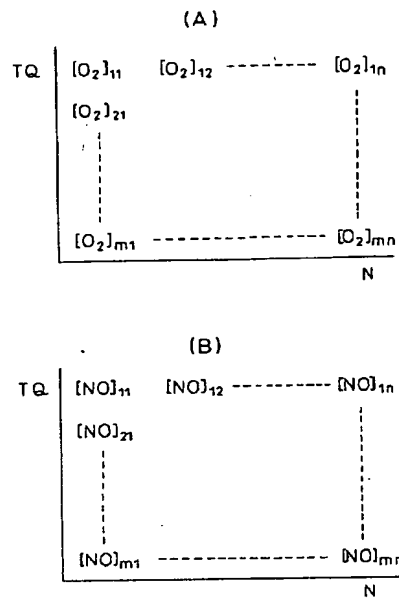
【図 29】

図 29



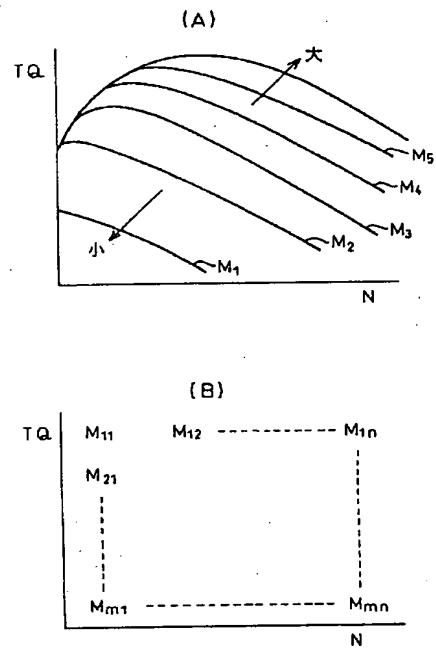
【図31】

図31



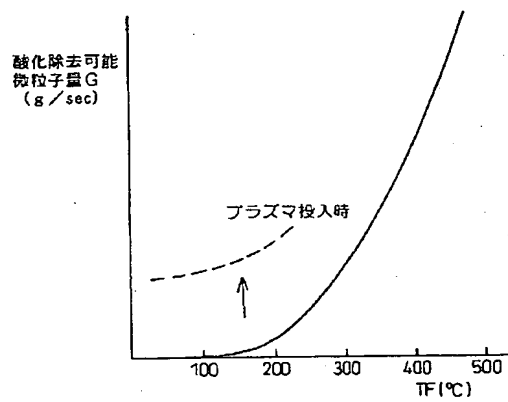
【図32】

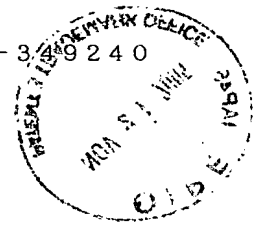
図32



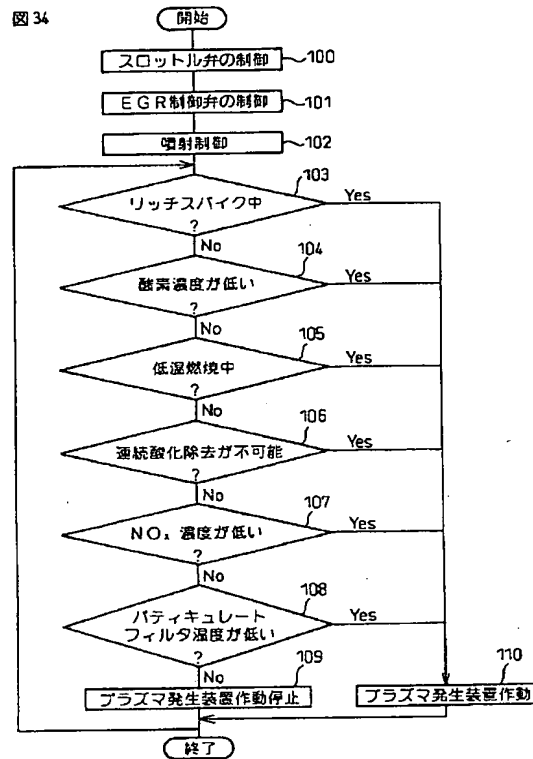
【図33】

図33





【図34】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F02D 41/04

識別記号

305

F1

F02D 41/04

テーマコード(参考)

305A

(72)発明者 仲野 泰彰

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動

車株式会社内

(72)発明者 浅沼 孝充

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動

車株式会社内

(72)発明者 広田 信也

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動

車株式会社内

(72)発明者 伊藤 和浩

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動

車株式会社内

Fターム(参考) 3G090 AA01 AA03 BA01 CA04 EA01

EA02

3G091 AA18 AB01 AB13 BA01 BA07

BA31 BA39 CA00 EA01 EA05

EA07 EA08 EA18 EA34 FC07

GB02W GB03W GB04W GB05W

GB06W GB17X HA14 HA36

HB05

3G301 HA02 HA13 JA21 JA24 JA25

JA26 LA01 LB01 LC01 LC03

MA23 NA08 NC04 NE02 NE07

PA01A PA01Z PA11A PA11Z

PB03A PB08Z PD02Z PD15A

PD15Z PE03Z PF03Z